

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-142501

(43)Date of publication of application : 29.05.1998

(51)Int.Cl.

G02B 13/24  
G03F 7/20  
H01L 21/027

(21)Application number : 08-309976

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 06.11.1996

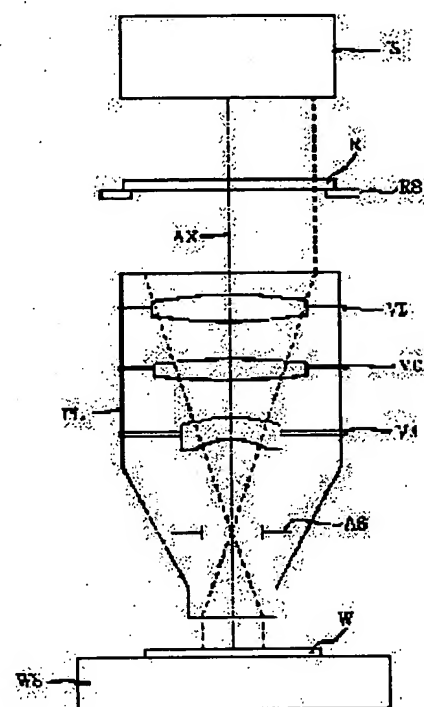
(72)Inventor : TAKEUCHI MAIKO

(54) PROJECTING ALIGNER AND PRODUCTION OF SEMICONDUCTOR DEVICE BY USING THE PROJECTION ALIGNER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To make it possible to occasionally correct the residual aberrations of projection optical systems in the mounted state of these systems by providing the projection aligner with optical members for correcting residual distortions, astigmatisms and coma aberrations.

SOLUTION: An illumination optical device IS evenly illuminates a reticle R under Koehler illumination. The pattern images of the reticle R formed by the Koehler illumination are exposed onto a wafer W by the projection optical system PL. The projection optical system PL is provided with the first optical member VD for correcting the residual distortions, the second optical member VA for correcting the residual astigmatisms and the third optical member VC for correcting the residual coma aberrations. These first, second and third optical members VD, VA, VC respectively comprise prescribed lenses movable along the plane orthogonal with the optical axis. As a result, the high-accuracy projection exposure may be executed always via the high-performance projection optical system. The production of good semiconductor devices is thus made possible.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

14.10.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] An illumination-light study system for illuminating the 1st body Projection optics for projecting an image of said 1st body illuminated by this illumination-light study system on the 2nd body It is the projection aligner equipped with the above. Said projection optics The 1st lens group which has positive refractive power sequentially from said 1st body side, and the 2nd lens group which has negative refractive power, It has the 3rd lens group which has positive refractive power, the 4th lens group which has negative refractive power, the 5th lens group which has positive refractive power, and the 6th lens group which has positive refractive power. Said projection optics The 1st optical member for amending distortion which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with an optical axis of said projection optics, and remains in said projection optics, The 2nd optical member for amending astigmatism which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with said optical axis, and remains in said projection optics, It has the 3rd optical member for amending comatic aberration which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with said optical axis, and remains in said projection optics. Said 1st optical member consists of at least one lens in said 1st lens group. Said 2nd optical member It is characterized by consisting of at least one lens in lens groups other than said 1st lens group, and said 3rd optical member consisting of at least one lens in lens groups other than said 1st lens group.

[Claim 2] It is a focal distance of said 1st lens group  $f_1$  It carries out and is a focal distance of said 2nd lens group  $f_2$  It carries out. It is a focal distance of said 3rd lens group  $f_3$  It carries out and is a focal distance of said 4th lens group  $f_4$  It carries out and is a focal distance of said 5th lens group  $f_5$  It carries out and is a focal distance of said 6th lens group  $f_6$  When carrying out and setting shaft top distance from said 1st body to said 2nd body to  $L$ ,  $f_1 / L < 0.8$  (1)

$-0.033 < f_2 / L$  (2)

$0.01 < f_3 / L < 1.0$  (3)

$f_4 / L < -0.005$  (4)

$0.01 < f_5 / L < 0.9$  (5)

$0.02 < f_6 / L < 1.6$  (6)

A projection aligner according to claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\*.

[Claim 3] A projection aligner according to claim 1 or 2 characterized by having at least the 2nd lens and the 3rd lens which has negative refractive power characterized by providing the following Said 2nd lens group is the front lens of negative refractive power which has been arranged most at the 1st body side and turned a concave surface to said 2nd body side. A back lens of a negative meniscus configuration where it has been arranged most at the 2nd body side, and a concave surface was turned to said 1st body side It is the 1st lens with which it has a middle lens group arranged between said front lenses and said back lenses, and said middle lens group has positive refractive power sequentially from said 1st body side. Negative refractive power

[Claim 4] It is  $1.0 < I/L$ , when setting shaft top distance from said 1st body to the 1st body side focus of said whole projection optics to  $I$  and setting shaft top distance from said 1st body to said 2nd body to  $L$ . (7)

A projection aligner given in claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\* thru/or any 1 term of 3.

[Claim 5] It is  $r_2 F_f$  about radius of curvature of a field by the side of the 1st body of said front lens in said 2nd lens group. It carries out and is  $r_2 F_r$  about radius of curvature of a field by the side of the 2nd body of said front lens. When carrying out  $1.00 \leq (r_2 F_f - r_2 F_r) / (r_2 F_f + r_2 F_r) < 5.0$  (8),

A projection aligner given in claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\* thru/or any 1 term of 4.

[Claim 6] When setting an axial sky mind gap between said 5th lens groups and said 6th lens groups to  $d_{56}$  and setting shaft top distance from said 1st body to said 2nd body to  $L$ , it is  $d_{56} / L < 0.017$ . (9)

A projection aligner given in claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\* thru/or any 1 term of 5.

[Claim 7] said 6th lens group -- most -- radius of curvature of a lens side by the side of the 1st body --  $r_6 F$  -- carrying

[http://www4.ipdl.jpo.go.jp/cgi-bin/tran\\_web.cgi\\_ejje?u=http%3A%2F%2Fwww4.ipdl.jpo.go.jp%2FToku...](http://www4.ipdl.jpo.go.jp/cgi-bin/tran_web.cgi_ejje?u=http%3A%2F%2Fwww4.ipdl.jpo.go.jp%2FToku...) 12/30/2003

out -- the 6th lens group -- most -- shaft top distance from a lens side by the side of the 1st body to the 2nd body --  $d_6$  \*\*  
 -- a time of carrying out -- 0.50 -- < --  $d_6/r_6F < 1.50$  (10)

A projection aligner given in claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\* thru/or any 1 term of 6.

[Claim 8] When setting a focal distance of said front lens in said 2nd lens group to  $f_2F$  and setting a focal distance of said back lens in said 2nd lens group to  $f_2R$ , it is  $0 \leq f_2F/f_2R < 18$ . (11)

A projection aligner given in claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\* thru/or any 1 term of 7.

[Claim 9] A projection aligner given in claim 1 thru/or any 1 term of 8 characterized by providing the following Said 1st lens group has at least two positive lenses, said 3rd lens group has at least three positive lenses, said 4th lens group has at least three negative lenses, and said 5th lens groups are at least five positive lenses. Having at least one negative lens, said 6th lens group is at least one positive lens.

[Claim 10] [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with a tilt angle  $\alpha$  from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle  $\alpha'$  ] When setting to  $\alpha_{phai}$  a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to  $\alpha_{phae}$  a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, tilt-angle coefficient  $\alpha_{phai1} = \alpha_{phai}/\alpha'$  by the side of incidence of a lens which constitutes said 1st optical member, or tilt-angle coefficient  $\alpha_{phae2} = \alpha_{phae}/\alpha'$  by the side of injection -- (12) <BR>  $|\alpha_{phai1}| \leq 0.3$  or --  $|\alpha_{phae2}| \leq 0.3$  It is ho about the incidence high when carrying out incidence to each lens with which the periphery flux of light which has the maximum numerical aperture from an axial choice-goods point of said 1st body constitutes said projection optics, while satisfying \*\*\*\*\*. It carries out. It is hp about the incidence high when carrying out incidence to each lens with which the periphery flux of light which has the maximum numerical aperture from a maximum body high point of said 1st body constitutes said projection optics. When carrying out and setting to  $\phi$  the maximum effective diameter of each lens which constitutes said projection optics, a lens which constitutes said 1st optical member  $hp \geq \phi/4$  (13)

ho  $\leq \phi/4$  (14)

A projection aligner given in claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\* thru/or any 1 term of 9.

[Claim 11] [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with a tilt angle  $\alpha$  from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle  $\alpha'$  ] When setting to  $\alpha_{phai}$  a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to  $\alpha_{phae}$  a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, tilt-angle coefficient  $\alpha_{phai1} = \alpha_{phai}/\alpha'$  by the side of incidence of a lens which constitutes said 2nd optical member, or tilt-angle coefficient  $\alpha_{phae2} = \alpha_{phae}/\alpha'$  by the side of injection -- (15) <BR>  $0.6 < |\alpha_{phai1}|$  or --  $0.6 < |\alpha_{phae2}|$  A projection aligner given in claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\* thru/or any 1 term of 10.

[Claim 12] [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with a tilt angle  $\alpha$  from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle  $\alpha'$  ] When setting to  $\alpha_{phai}$  a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to  $\alpha_{phae}$  a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, tilt-angle coefficient  $\alpha_{phai1} = \alpha_{phai}/\alpha'$  by the side of incidence of a lens which constitutes said 3rd optical member, or tilt-angle coefficient  $\alpha_{phae2} = \alpha_{phae}/\alpha'$  by the side of injection  $0 < |\alpha_{phai1}| \leq 0.6$  or --  $0 < |\alpha_{phae2}| \leq 0.6$  (16)

A projection aligner given in claim 1 characterized by satisfying \*\*\*\*\* thru/or any 1 term of 11.

[Claim 13] Projection characterized by providing the following An illumination-light study system for illuminating the 1st body In a projection optics aligner which has two or more lenses in order to project an image of said 1st body illuminated by this illumination-light study system on the 2nd body said projection optics It has an optical member for amending distortion which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with an optical axis of said projection optics, and remains in said projection optics. [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with a tilt angle  $\alpha$  from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle  $\alpha'$  ] When setting to  $\alpha_{phai}$  a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to  $\alpha_{phae}$  a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, tilt-angle coefficient  $\alpha_{phai1} = \alpha_{phai}/\alpha'$  by the side of incidence of a lens which constitutes said optical member, or tilt-angle coefficient  $\alpha_{phae2} = \alpha_{phae}/\alpha'$  by the side of injection  $|\alpha_{phai1}| \leq 0.3$  or --  $|\alpha_{phae2}| \leq 0.3$  (12)

It is ho about the incidence high when carrying out incidence to each lens with which the periphery flux of light which

has the maximum numerical aperture from an axial choice-goods point of said 1st body constitutes said projection optics, while satisfying \*\*\*\*\*. It carries out. It is hp about the incidence high when carrying out incidence to each lens with which the periphery flux of light which has the maximum numerical aperture from a maximum body high point of said 1st body constitutes said projection optics. When carrying out and setting to phi the maximum effective diameter of each lens which constitutes said projection optics, a lens which constitutes said optical member hp  $\geq \phi/4$  (13) ho  $\leq \phi/4$  (14)

A projection aligner characterized by satisfying \*\*\*\*\*.

[Claim 14] In a projection aligner characterized by providing the following said projection optics It has an optical member for amending astigmatism which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with an optical axis, and remains in said projection optics. [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with a tilt angle alpha from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle alpha' ] When setting to alphas a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to alphas a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, Tilt-angle coefficient  $\alpha_1 = \alpha_{\text{hai}}/\alpha'$  by the side of incidence of a lens which constitutes said optical member, or tilt-angle coefficient  $\alpha_2 = \alpha_e/\alpha'$  by the side of injection, An illumination-light study system for illuminating the 1st body \*\*\*\*\* I \*\*\*\*\* which has two or more lenses in order to project an image of said 1st body illuminated by this illumination-light study system on the 2nd body . \*\* I

\*\*\*\*\* A double \*\* machine

A projection aligner characterized by satisfying \*\*\*\*\*.

[Claim 15] In a projection aligner characterized by providing the following said projection optics It has an optical member for amending comatic aberration which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with an optical axis, and remains in said projection optics. [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with a tilt angle alpha from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle alpha' ] When setting to alphas a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to alphas a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, Tilt-angle coefficient  $\alpha_1 = \alpha_{\text{hai}}/\alpha'$  by the side of incidence of a lens which constitutes said optical member, or tilt-angle coefficient  $\alpha_2 = \alpha_e/\alpha'$  by the side of injection, An illumination-light study system for illuminating the 1st body Projection optics \*\*\*\*\* I \*\* which has two or more lenses in order to project an image of said 1st body illuminated by this illumination-light study system on the 2nd body \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\* I \*\* Double \*\*\*\*\* A projection aligner characterized by satisfying \*\*\*\*\*.

[Claim 16] A manufacture method of a semiconductor device characterized by including a production process which exposes a predetermined pattern formed on a reticle to a photosensitive substrate using a projection aligner given in claim 1 thru/or any 1 term of 15.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

## [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the aberration amendment in the projection aligner for semiconductor manufacture especially about the manufacture method of a semiconductor device of having used the projection aligner and this projection aligner.

[0002]

[Description of the Prior Art] For example, in the projection aligner used for manufacture of a semiconductor device, the engine performance demanded from projection optics is still severer along with detailed-izing of the pattern of an integrated circuit. And the lens number of sheets which constitutes projection optics increased, and the configuration is increasingly complicated as a military requirement becomes severe.

[0003]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In order to demonstrate desired high performance in the complicated projection optics of a configuration as mentioned above, it is necessary to make high each manufacture precision and assembly precision of lens components which constitute projection optics. However, even if it makes high each manufacture precision and assembly precision of lens components, especially in the projection optics carried in the projection aligner, many aberration, such as comatic aberration, astigmatism, and distortion, will remain.

[0004] This invention is made in view of the above-mentioned technical problem, and even if it originates in a manufacture error, an assembly error, etc. and many aberration, such as comatic aberration, astigmatism, and distortion, remains in projection optics, it aims at offering the manufacture method of the semiconductor device using the projection aligner and this projection aligner which can amend these residual aberrations at any time where projection optics is carried.

[0005]

[Means for Solving the Problem] In order to solve said technical problem, it sets to the 1st invention of this invention. In a projection aligner equipped with an illumination-light study system for illuminating the 1st body, and projection optics for projecting an image of said 1st body illuminated by this illumination-light study system on the 2nd body The 1st lens group in which said projection optics has positive refractive power sequentially from said 1st body side, The 2nd lens group which has negative refractive power, and the 3rd lens group which has positive refractive power, It has the 4th lens group which has negative refractive power, the 5th lens group which has positive refractive power, and the 6th lens group which has positive refractive power. Said projection optics The 1st optical member as the 1st amendment member for amending distortion which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with an optical axis of said projection optics, and remains in said projection optics, The 2nd optical member as the 2nd amendment member for amending astigmatism which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with said optical axis, and remains in said projection optics, It has the 3rd optical member as the 3rd amendment member for amending comatic aberration which consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with said optical axis, and remains in said projection optics. Said 1st optical member consists of at least one lens in said 1st lens group. Said 2nd optical member It consists of at least one lens in lens groups other than said 1st lens group, and a projection aligner characterized by said 3rd optical member consisting of at least one lens in lens groups other than said 1st lens group is offered.

[0006] According to the desirable mode of the 1st invention, it is a focal distance of said 1st lens group  $f_1$  It carries out. It is a focal distance of said 2nd lens group  $f_2$  It carries out and is a focal distance of said 3rd lens group  $f_3$  It carries out. It is a focal distance of said 4th lens group  $f_4$  It carries out and is a focal distance of said 5th lens group  $f_5$  It carries out and is a focal distance of said 6th lens group  $f_6$  When carrying out and setting shaft top distance from said 1st body to

said 2nd body to L, it is  $f1 / L < 0.8$ . (1)

$-0.033 < f2 / L$  (2)

$0.01 < f3 / L < 1.0$  (3)

$f4 / L < -0.005$  (4)

$0.01 < f5 / L < 0.9$  (5)

$0.02 < f6 / L < 1.6$  (6)

\*\*\*\*\* is satisfied.

[0007] According to the desirable mode of the 1st invention, moreover, said 2nd lens group A front lens of negative refractive power which has been arranged most at the 1st body side and turned a concave surface to said 2nd body side, A back lens of a negative meniscus configuration where it has been arranged most at the 2nd body side, and a concave surface was turned to said 1st body side, Having a middle lens group arranged between said front lenses and said back lenses, said middle lens group has at least the 1st lens which has positive refractive power, the 2nd lens which has negative refractive power, and the 3rd lens which has negative refractive power sequentially from said 1st body side. Furthermore, it is  $1.0 < I/L$ , when setting shaft top distance from said 1st body to the 1st body side focus of said whole projection optics to I and setting shaft top distance from said 1st body to said 2nd body to L. (7)  
It is desirable to satisfy \*\*\*\*\*.

[0008] In a projection aligner equipped with projection optics which has two or more lenses in order to project an image of said 1st body illuminated by an illumination-light study system for illuminating the 1st body, and this illumination-light study system in the 2nd invention of this invention on the 2nd body It has an optical member as an amendment member for distortion amendment for amending distortion which said projection optics consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with an optical axis of said projection optics, and remains in said projection optics. [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with the tilt angle  $\alpha$  from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle  $\alpha'$  ] When setting to  $\alpha_{phai}$  a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to  $\alpha_{phae}$  a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, tilt-angle coefficient  $\alpha_{pha2} = \alpha_{phae} / \alpha$  by the side of tilt-angle coefficient  $\alpha_{pha1} = \alpha_{phai} / \alpha'$  by the side of incidence of a lens which constitutes an optical member for said distortion amendment, or injection -- ' --  $|\alpha_{pha1}| \leq 0.3$  or --  $|\alpha_{pha2}| \leq 0.3$  (12)

It is ho about the incidence high when carrying out incidence to each lens with which the periphery flux of light which has the maximum numerical aperture from an axial choice-goods point of said 1st body constitutes said projection optics, while satisfying \*\*\*\*\*. It carries out. It is hp about the incidence high when carrying out incidence to each lens with which the periphery flux of light which has the maximum numerical aperture from a maximum body high point of said 1st body constitutes said projection optics. When carrying out and setting to  $\phi$  the maximum effective diameter of each lens which constitutes said projection optics, A lens which constitutes an optical member for said distortion amendment is  $hp \geq \phi/4$ . (13)

$ho \leq \phi/4$  (14)

A projection aligner characterized by satisfying \*\*\*\*\* is offered.

[0009] In a projection aligner equipped with projection optics which has two or more lenses in order to project an image of said 1st body illuminated by an illumination-light study system for illuminating the 1st body, and this illumination-light study system in the 3rd invention of this invention on the 2nd body It has an optical member as an amendment member for astigmatism correction for amending astigmatism which said projection optics consists of at least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with an optical axis, and remains in said projection optics. [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with the tilt angle  $\alpha$  from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle  $\alpha'$  ] When setting to  $\alpha_{phai}$  a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to  $\alpha_{phae}$  a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, tilt-angle coefficient  $\alpha_{pha2} = \alpha_{phae} / \alpha$  by the side of tilt-angle coefficient  $\alpha_{pha1} = \alpha_{phai} / \alpha'$  by the side of incidence of a lens which constitutes an optical member for said astigmatism correction, or injection -- ' --  $0.6 < |\alpha_{pha1}|$  or --  $0.6 < |\alpha_{pha2}|$  (15)

A projection aligner characterized by satisfying \*\*\*\*\* is offered.

[0010] In a projection aligner equipped with projection optics which has two or more lenses in order to project an image of said 1st body illuminated by an illumination-light study system for illuminating the 1st body, and this illumination-light study system in the 4th invention of this invention on the 2nd body It has an optical member as an amendment member for comatic-aberration amendment for amending comatic aberration which said projection optics consists of at



least one movable lens along a field which intersects perpendicularly with an optical axis, and remains in said projection optics. [ when a paraxial ray which carried out incidence to said projection optics with the tilt angle  $\alpha$  from an axial choice-goods point of said 1st body carries out incidence to said 2nd body by tilt-angle  $\alpha$  ] When setting to  $\alpha$  a tilt angle of said paraxial ray which carries out incidence to a field by the side of said 1st body in each lens which constitutes said projection optics and setting to  $\alpha$  a tilt angle of said paraxial ray injected from a field by the side of said 2nd body in each lens which constitutes said projection optics, tilt-angle coefficient  $\alpha_2 = \alpha_e / \alpha$  by the side of tilt-angle coefficient  $\alpha_1 = \alpha_i / \alpha$  by the side of incidence of a lens which constitutes an optical member for said comatic-aberration amendment, or injection -- ' --  $0 < |\alpha_1| \leq 0.6$  or --  $0 < |\alpha_2| \leq 0.6$  (16)

A projection aligner characterized by satisfying \*\*\*\*\* is offered.

[0011] Moreover, a manufacture method of a semiconductor device characterized by this invention including a production process which exposes a predetermined pattern formed on a reticle to a photosensitive substrate using a projection aligner of the above invention [ 1st ] thru/or the 4th invention either is offered.

[0012]

[Embodiment of the Invention] The projection optics of this invention is equipped with the 1st lens group which has positive refractive power, the 2nd lens group which has negative refractive power, the 3rd lens group which has positive refractive power, the 4th lens group which has negative refractive power, the 5th lens group which has positive refractive power, and the 6th lens group which has positive refractive power sequentially from the 1st body side. The 1st lens group which has positive refractive power has mainly contributed to amendment of distortion, maintaining tele cent rucksack nature. A positive distortion was generated in the 1st lens group, and, specifically, a negative distortion generated in two or more lens groups arranged rather than the 1st lens group at the 2nd body side is amended with sufficient balance. The 4th lens group which has the 2nd lens group and the negative refractive power which have negative refractive power mainly contributes to amendment of the PETTSU bar sum, and its flattening of the image surface is in drawing. The 2nd lens group which has negative refractive power, and the 3rd lens group which has positive refractive power form the reverse looking-far system, and has contributed to reservation of the back focus (most shaft top distance [ Projection optics ] from the lens side by the side of the 2nd body to the 2nd body) of projection optics. The 6th lens group which has the 5th lens group and the same positive refractive power which have positive refractive power has contributed mainly to suppressing generating of distortion, and suppressing generating of spherical aberration as much as possible, especially since it corresponds to high NA-ization by the side of the 2nd body enough.

[0013] In this invention, it has the 1st optical member as the 1st amendment member for the distortion amendment for amending the distortion which remains in projection optics, the 2nd optical member as the 2nd amendment member for the astigmatism correction for amending the astigmatism which remains, and the 3rd optical member as the 3rd amendment member for the comatic-aberration amendment for amending the comatic aberration which remains. In addition, the 1st optical member consists of at least one movable lens along the field which intersects perpendicularly with an optical axis in the 1st lens group. Moreover, the 2nd optical member and the 3rd optical member consist of at least one movable lens along the field which intersects perpendicularly with an optical axis in the predetermined lens group in the 2nd lens group except the 1st lens group - the 6th lens group. Especially the 2nd optical member and the 3rd optical member may be prepared in two or more lens groups other than the 1st lens group, in order to share amendment of aberration. Therefore, according to this invention, even if it originates in a manufacture error, an assembly error, etc. and many aberration, such as comatic aberration, astigmatism, and distortion, remains in projection optics, an operation of the 1st optical member - 3rd optical member can amend these residual aberrations to fitness at any time in the condition of having been carried in the projection aligner. That is, even if it makes high neither manufacture precision nor assembly precision, highly precise projection exposure can be performed through always highly efficient projection optics.

[0014] In addition, in this invention, it is desirable to satisfy following conditional-expression (1) - (6).

$$f_1 / L < 0.8 \quad (1)$$

$$-0.033 < f_2 / L \quad (2)$$

$$0.01 < f_3 / L < 1.0 \quad (3)$$

$$f_4 / L < -0.005 \quad (4)$$

$$0.01 < f_5 / L < 0.9 \quad (5)$$

$$0.02 < f_6 / L < 1.6 \quad (6)$$

[0015] At conditional expression (1), it is the focal distance  $f_1$  of the 1st lens group of positive refractive power. The optimal ratio with the shaft top distance (length between object images)  $L$  from the 1st body (reticle etc.) to the 2nd body (wafer etc.) is specified. Conditional expression (1) is the conditional expression for mainly amending distortion with sufficient balance. If it exceeds the upper limit of conditional expression (1), since a negative distortion will occur

greatly, it is not desirable. In addition, while attaining miniaturization, securing a predetermined contraction scale factor and a large predetermined exposure field, in order to amend distortion still better, it is desirable to set the upper limit of conditional expression (1) to 0.14. Moreover, in order to suppress generating of the spherical aberration of a pupil still better, it is desirable to set a lower limit as conditional expression (1), and to set the value to 0.02.

[0016] At conditional expression (2), it is the focal distance  $f_2$  of the 2nd lens group of negative refractive power. The optimal ratio with the shaft top distance (length between object images)  $L$  from the 1st body to the 2nd body is specified. Conditional expression (2) is the conditional expression for attaining miniaturization, securing a large exposure field, and amending the PETTSU bar sum good. If less than the lower limit of conditional expression (2), since it not only becomes difficult to attain miniaturization, but the positive PETTSU bar sum will occur, securing a large exposure field, it is not desirable. In addition, for achievement of the further miniaturization, or still better amendment of the PETTSU bar sum, it is desirable to set the lower limit of conditional expression (2) to -0.032. Moreover, in order to suppress generating of a negative distortion still better, it is desirable to set an upper limit as conditional expression (2), and to set the value to -0.005.

[0017] At conditional expression (3), it is the focal distance  $f_3$  of the 3rd lens group of positive refractive power. The optimal ratio with the shaft top distance (length between object images)  $L$  from the 1st body to the 2nd body is specified. If less than the lower limit of conditional expression (3), the refractive power of the 2nd lens group or the refractive power of the 4th lens group will become strong. Consequently, since a negative distortion and generating of comatic aberration are caused in the 2nd lens group and generating of comatic aberration is caused in the 4th lens group, it is not desirable. On the other hand, if it exceeds the upper limit of conditional expression (3), since the refractive power of the 2nd lens group or the 4th lens group becomes weak and it becomes impossible to amend the PETTSU bar sum good, it is not desirable.

[0018] At conditional expression (4), it is the focal distance  $f_4$  of the 4th lens group of negative refractive power. The optimal ratio with the shaft top distance (length between object images)  $L$  from the 1st body to the 2nd body is specified. If it exceeds the upper limit of conditional expression (4), since comatic aberration occurs, it is not desirable. In addition, in order to suppress generating of comatic aberration still better, it is desirable to set the upper limit of conditional expression (4) to -0.047. Moreover, in order to amend spherical aberration good, it is desirable to set a lower limit as conditional expression (4), and to set the value to -0.098.

[0019] At conditional expression (5), it is the focal distance  $f_5$  of the 5th lens group of positive refractive power. The optimal ratio with the shaft top distance (length between object images)  $L$  from the 1st body to the 2nd body is specified. Conditional expression (5) is the conditional expression for amending spherical aberration, distortion, and the PETTSU bar sum with sufficient balance, maintaining the big numerical aperture NA. If less than the lower limit of conditional expression (5), the positive refractive power of the 5th lens group will become strong too much. Consequently, since not only a negative distortion but negative spherical aberration occurs serious in the 5th lens group, it is not desirable. On the other hand, if it exceeds the upper limit of conditional expression (5), the positive refractive power of the 5th lens group will become weak too much, and the negative refractive power of the 4th lens group will also become weak inevitably. Consequently, since it becomes impossible to amend the PETTSU bar sum good, it is not desirable.

[0020] At conditional expression (6), it is the focal distance  $f_6$  of the 6th lens group of positive refractive power. The optimal ratio with the shaft top distance (length between object images)  $L$  from the 1st body to the 2nd body is specified. Conditional expression (6) is the conditional expression for suppressing generating of high order spherical aberration and a negative distortion, maintaining a big numerical aperture. If less than the lower limit of conditional expression (6), since a negative distortion will occur greatly in the 6th lens group itself, it is not desirable. On the other hand, if it exceeds the upper limit of conditional expression (6), since high order spherical aberration will occur, it is not desirable.

[0021] Moreover, in the 2nd lens group, it is most desirable to the 1st body side that the front lens which has the negative refractive power which turned the concave surface to the 2nd body side is arranged. This front lens can perform amendment of a curvature of field and comatic aberration good. Furthermore, in the 2nd lens group, it is most desirable to the 2nd body side that the back lens of the negative meniscus configuration where the concave surface was turned to the 1st body side is arranged. With this back lens, while mainly amending comatic aberration good, amendment of a curvature of field can also be performed. Moreover, in the 2nd lens group, it is desirable that the middle lens group which has at least the 1st lens which has positive refractive power, the 2nd lens which has negative refractive power, and the 3rd lens which has negative refractive power sequentially from the 1st body side between a front lens and a back lens is arranged. In this case, negative distortion generated with this 1st lens in the 2nd lens and the 3rd lens which have been greatly contributed to amendment of a curvature of field can be amended good.



[0022] Moreover, in this invention, it is desirable to satisfy the following conditional expression (7).

$$1.0 < I/L \quad (7)$$

Conditional expression (7) has prescribed the optimal ratio of the shaft top distance I from the 1st body to the 1st body side focus of the whole projection optics, and the shaft top distance L from the 1st body to the 2nd body. Here, the 1st body side focus of the whole projection optics means the point that the light of the paraxial field is injected from projection optics, and crosses an optical axis, when carrying out incidence of the parallel light in a paraxial field from the 2nd body side of projection optics to the optical axis of projection optics.

[0023] If less than the lower limit of conditional expression (7), the tele cent rucksack nature by the side of the 1st body of projection optics will collapse sharply, and fluctuation of distortion will become large at the fluctuation list of the scale factor resulting from a gap of the direction of an optical axis of the 1st body. Consequently, since it becomes difficult to project the image of the 1st body on the 2nd body faithfully under a desired scale factor, it is not desirable. In addition, in order to suppress fluctuation of distortion still better in the fluctuation list of the scale factor resulting from a gap of the direction of an optical axis of the 1st body, it is desirable to set the lower limit of conditions (7) to 1.7.

Moreover, in order to amend the spherical aberration and distortion of a pupil with both sufficient balance, maintaining miniaturization of projection optics, it is desirable to set an upper limit as conditional expression (7), and to set the value to 6.8.

[0024] Moreover, it sets to this invention and is  $r2Ff$  about the radius of curvature of the field by the side of the 1st body of the front lens in the 2nd lens group. It carries out and is  $r2Fr$  about the radius of curvature of the field by the side of the 2nd body of a front lens. When carrying out, it is desirable to satisfy the following conditional expression (8).

$$1.00 \leq (r2Ff - r2Fr) / (r2Ff + r2Fr) < 5.0 \quad (8)$$

If less than the lower limit of conditional expression (8), since it becomes impossible to fully amend spherical aberration of a pupil, it is not desirable. On the other hand, if it exceeds the upper limit of conditional expression (8), since comatic aberration occurs, it is not desirable.

[0025] Moreover, in this invention, when setting the axial sky mind gap between the 5th lens group and the 6th lens group to  $d56$  and setting shaft top distance from the 1st body to the 2nd body to L, it is desirable to satisfy the following conditional expression (9).

$$d56/L < 0.017 \quad (9)$$

If it exceeds the upper limit of conditional expression (9), the air gap between the 5th lens group and the 6th lens group will become large, and the yield of a positive distortion will become small. Consequently, since it becomes difficult to amend a negative distortion generated in the positive lens in the 5th lens group with sufficient balance, it is not desirable.

[0026] moreover, this invention -- setting -- the 6th lens group -- most -- the radius of curvature of the lens side by the side of the 1st body --  $r6F$  -- carrying out -- the 6th lens group -- most -- the shaft top distance from the lens side by the side of the 1st body to the 2nd body --  $d6$  -- when carrying out, it is desirable to satisfy the following conditional expression (10).

$$0.50 < d6 / r6F < 1.50 \quad (10)$$

If less than the lower limit of conditional expression (10), since the positive refractive power of the lens side by the side of the 1st body becomes strong too much most, and a negative distortion and comatic aberration occur greatly, it is not [ of the 6th lens group ] desirable. If it exceeds the upper limit of conditional expression (10), since the positive refractive power of the lens side by the side of the 1st body becomes weak too much most, and comatic aberration occurs greatly, it is not [ of the 6th lens group ] desirable. In addition, in order to suppress generating of comatic aberration still better, it is desirable to set the lower limit of conditional expression (10) to 0.84.

[0027] Moreover, in this invention, it is desirable to satisfy the following conditional expression (11).

$$0 \leq f2F / f2R < 18 \quad (11)$$

Conditional expression (11) has prescribed the optimal ratio of focal distance  $f2R$  of the back lens in the 2nd lens group, and focal distance  $f2F$  of the front lens in the 2nd lens group. If it deviates from the range limited by the lower limit and upper limit of conditional expression (11), since it will become difficult for the balance of the refractive power of the 1st lens group or the 3rd lens group to collapse, and to amend distortion good or to amend the PETTSU bar sum and astigmatism good to coincidence, it is not desirable.

[0028] In order to specifically demonstrate sufficient aberration function in each lens group which constitutes projection optics, constituting as follows is desirable. In order to demonstrate the function to suppress generating of the spherical aberration of a pupil in a high order distortion list in the 1st lens group, it is desirable that the 1st lens group has at least two positive lenses. Moreover, in order to demonstrate the function to suppress aggravation of spherical aberration and the PETTSU bar sum in the 3rd lens group, it is desirable that the 3rd lens group has at least three positive lenses.

Furthermore, in order to demonstrate the function to suppress generating of comatic aberration, amending the PETTSU bar sum in the 4th lens group, it is desirable that the 4th lens group has at least three negative lenses.

[0029] Moreover, in order to demonstrate the function to suppress a negative distortion and generating of spherical aberration in the 5th lens group, it is desirable that the 5th lens group has at least five positive lenses. Furthermore, in order to demonstrate the function which amends a negative distortion and the negative PETTSU bar sum in the 5th lens group, it is desirable that the 5th lens group has at least one negative lens. Moreover, in order to make it condense on the 2nd body so that spherical aberration may not be greatly generated in the 6th lens group, it is desirable that this 6th lens group has at least one positive lens.

[0030] Drawing 3 is drawing for explaining the principle of aberration amendment of this invention. In drawing 3 (a), the light from the object point P on the optical axis AX of a lens 1 carries out incidence to a lens 1 with the tilt angle alpha to an optical axis AX. Incidence of the light refracted with the lens 1 is carried out to point P' on an optical axis AX by tilt-angle alpha' to an optical axis AX. Thus, in this invention, the angle to the optical axis of light is called tilt angle. The line BO which connects Point B to the center of curvature O of the spherical surface which forms the plane of incidence of a lens 1 in drawing 3 (b) on the other hand constitutes the optical axis AX of a lens 1. The incident ray PA leans with the tilt angle alpha to the optical axis BO, and the field where the meridional side M and a field including Light PA and an optical axis BO cross the meridional side M at right angles including Light PA constitutes the sagittal side S. In addition, the crossover line of the sagittal side S and the plane of incidence of a lens 1 forms the circle which makes Point C center of curvature.

[0031] The radius of curvature OC in the sagittal side S becomes small as are shown in the cross section along the meridional side M of drawing 3 (c) and the tilt angle alpha of an incident ray PA becomes large. The difference of the radius of curvature OA in the meridional side M and the radius of curvature AC in the sagittal side S becomes large as the tilt angle alpha of an incident ray PA will become large, if it puts in another way. In this way, the incident ray PA which has the predetermined tilt angle alpha is refracted according to radius of curvature OA in the meridional side M, and is refracted according to radius of curvature OC in the sagittal side S. Consequently, the image formation location in the meridional side M will differ from the image formation location in the sagittal side S as the tilt angle alpha of an incident ray PA becomes large.

[0032] When the lens 1 of drawing 3 is projection optics, the paraxial ray which carried out incidence to projection optics with the tilt angle alpha from the axial choice-goods point P of the 1st body will carry out incidence to the image surface, i.e., the 2nd body, by tilt-angle alpha'. In this invention, the concept of the tilt-angle coefficient alpha 1 by the side of the incidence of each lens (or each lens in each lens group) which constitutes projection optics, and the tilt-angle coefficient alpha 2 by the side of injection is introduced. Namely, the tilt angle of the above-mentioned paraxial ray which carries out incidence to the plane of incidence (field by the side of the 1st body) of each lens of projection optics (or each lens group) is set to alpha<sub>1</sub>. The tilt angle of the paraxial ray injected from the injection side (field by the side of the 2nd body) of each lens of projection optics (or each lens group) is set to alpha<sub>2</sub>, and the following formula (a) and (b) define the tilt-angle coefficient alpha 1 by the side of the incidence of each lens of projection optics (or each lens group), and the tilt-angle coefficient alpha 2 by the side of injection.

$$\alpha_1 = \alpha_{1i} / \alpha' \quad (a)$$

$$\alpha_2 = \alpha_{2e} / \alpha' \quad (b)$$

[0033] Moreover, in this invention, it relates to incidence high [ of the light to each lens side of projection optics / h ], and is paraxial incidence high [ h<sub>0</sub> ]. And the incidence high h<sub>p</sub> outside a shaft The concept to say is introduced. The paraxial incidence high h<sub>0</sub> It is incidence high [ of the periphery flux of light in case the periphery flux of light which has the maximum numerical aperture from the axial choice-goods point of the 1st body carries out incidence to each lens of projection optics (or each lens group) ]. Moreover, the incidence high h<sub>p</sub> outside a shaft It is incidence high [ of the periphery flux of light in case the periphery flux of light which has the maximum numerical aperture from the maximum body high point of the 1st body carries out incidence to each lens of projection optics (or each lens group) ].

[0034] In this way, it sets to this invention. The tilt-angle coefficient alpha 1 by the side of incidence or the tilt-angle coefficient alpha 2 by the side of injection satisfies the following conditional expression (12), and it is paraxial incidence high [ h<sub>0</sub> ]. And the incidence high h<sub>p</sub> outside a shaft The lens in the 1st lens group which satisfies the following conditional expression (13) and (14) is used as the 1st optical member. By making it move in the direction perpendicular to an optical axis, it becomes possible to amend the distortion which remains.

$$|\alpha_1| \leq 0.3 \text{ or } -|\alpha_2| \leq 0.3 \quad (12)$$

$$h_p \geq \phi/4 \quad (13)$$

$$h_0 \leq \phi/4 \quad (14)$$

Here, phi is the maximum effective diameter (diameter) of each lens.

[0035] Moreover, in this invention, it becomes possible to amend the astigmatism which remains by moving it in the direction perpendicular to an optical axis, using as the 2nd optical member the lens with which the tilt-angle coefficient  $\alpha_1$  by the side of incidence or the tilt-angle coefficient  $\alpha_2$  by the side of injection is satisfied of the following conditional expression (15).

$$0.6 < |\alpha_1| \text{ or } -0.6 < |\alpha_2| \quad (15)$$

Furthermore, in this invention, the comatic aberration which remains is amended by moving it in the direction perpendicular to an optical axis, using as the 3rd optical member the lens with which the tilt-angle coefficient  $\alpha_1$  by the side of incidence or the tilt-angle coefficient  $\alpha_2$  by the side of injection is satisfied of the following conditional expression (16).

$$0 < |\alpha_1| \leq 0.6 \text{ or } -0 < |\alpha_2| \leq 0.6 \quad (16)$$

[0036] The example of this invention is explained based on an accompanying drawing. Drawing 1 is drawing showing roughly the configuration of the projection aligner concerning the example of this invention. Moreover, drawing 2 is drawing showing the lens configuration of the projection optics PL of drawing 1. In drawing 1, the reticle R as the projection original edition with which the predetermined circuit pattern was formed in the body side of projection optics PL (the 1st body) is arranged, and the wafer W as a photosensitive substrate (the 2nd body) is arranged in the image surface of projection optics PL. Here, Reticle R is held on the reticle stage RS, and Wafer W is held on the wafer stage WS constituted movable two-dimensional along the field perpendicular to the optical axis AX of projection optics PL.

[0037] Moreover, above Reticle R, the illumination-light study equipment IS for carrying out homogeneity lighting of the reticle R is arranged. In the interior of illumination-light study equipment IS, it is for example, i line (365nm). The light source like the mercury lamp which supplies light is arranged. The light supplied from illumination-light study equipment IS illuminates Reticle R, and the image of the light source in illumination-light study equipment IS is formed in the pupil location (location of aperture-diaphragm AS) of projection optics PL. That is, illumination-light study equipment IS carries out homogeneity lighting of the reticle R under Koehler illumination. And the pattern image of the reticle R in which Koehler illumination was carried out by projection optics PL is exposed on Wafer W (imprint). And a wafer process ends the wafer which passed through the production process (photolithography production process) of exposure by the projection aligner shown in drawing 1 through the production process of resist removal of removing the unnecessary resist after the production process of etching of removing portions other than the resist developed since it passes the production process to develop, and the production process of etching etc. And finally termination of a wafer process manufactures the semiconductor devices (LSI etc.) as a device like an actual erector through each production process, such as dicing which was able to be burned and which cuts and chip-izes a wafer for every circuit, bonding which gives wiring etc. to each chip, and packaging which carries out packaging for every chip. In addition, although the example which manufactures a semiconductor device according to the photolithography production process in the wafer process which used the projection aligner was shown above, a liquid crystal display element, the thin film magnetic head, and image sensors (CCD etc.) can be manufactured as a semiconductor device according to the photolithography production process using an aligner.

[0038] In addition, the 3rd optical member VC for amending the 2nd optical member VA for amending the astigmatism which it optical [ 1st ]-member-VD(s) for amending the distortion which remains to projection optics PL, and remains, and the comatic aberration which remains It is prepared. The 1st optical member VD and the 2nd optical member VA And the 3rd optical member VC It consists of movable predetermined lenses along the field which intersects perpendicularly with an optical axis, respectively. In addition, about a lens usable as each optical member, it mentions later.

[0039] the 1st lens group G1 in which projection optics PL has positive refractive power sequentially from the reticle R side as the 1st body when drawing 2 is referred to the 2nd lens group G2 which has negative refractive power 3rd lens group G3 which has positive refractive power The 4th lens group G4 which has negative refractive power The 5th lens group G5 which has positive refractive power The 6th lens group G6 which has positive refractive power from -- it is constituted. In a body and image side (Reticle R side) (Wafer W side), projection optics PL is a tele cent rucksack substantially, and has a contraction scale factor.

[0040] The 1st lens group G1 Sequentially from the body side, it consists of a negative meniscus lens L11 which turned the concave surface to the image side, a biconvex lens L12 which turned the convex to the body side, and two biconvex lenses L13 and L14 to which the field of curvature strong against a body side was turned. The 2nd lens group G2 It consists of middle lens group G2M which are arranged between biconcave lens L2F (front lens) arranged most at the body side, negative meniscus lens L2R (back lens) which has been arranged most at the image side and turned the concave surface to the body side, and biconcave lens L2F and negative meniscus lens L2R, and have negative refractive power. Middle lens group G2M consist of a biconvex lens LM1 (the 1st lens) to which the field of curvature strong

against an image side was turned sequentially from the body side, a biconcave lens LM2 (the 2nd lens) to which the field of curvature strong against an image side was turned, and a biconcave lens LM3 (the 3rd lens) to which the field of curvature strong against a body side was turned.

[0041] 3rd lens group G3 It consists of two positive meniscus lenses L31 and L32 to which the field of curvature strong against an image side was turned sequentially from the body side, biconvex lenses L33, a biconvex lens L34 to which the field of curvature strong against a body side was turned, and a positive meniscus lens L35 to which the field of curvature strong against a body side was turned. The 4th lens group G4 Sequentially from the body side, it consists of two negative meniscus lenses L41 and L42 which turned the concave surface to the image side, the negative meniscus lens L43 which turned the concave surface to the body side, a biconcave lens L44, a positive meniscus lens L45 which turned the convex to the body side, and a biconcave lens L46 which turned the concave surface to the body side.

[0042] The 5th lens group G5 Two biconvex lenses L51 and L52 which turned the convex to the image side sequentially from the body side, A biconvex lens L53 and the negative meniscus lens L54 which turned the concave surface to the body side, It consists of a biconvex lens L55 to which the field of strong curvature was turned by the body side, two positive meniscus lenses L56 and L57 of the configuration where the field of strong curvature was turned by the body side, and a negative meniscus lens L58 which turned the concave surface to the image side. The 6th lens group G6 Sequentially from the body side, it consists of a biconvex lens L61 to which the field of strong curvature was turned by the body side, and a biconcave lens L62 which turned the concave surface to the body side. Moreover, aperture-diaphragm AS is arranged between the positive meniscus lens L45 and the biconcave lens L46.

[0043] The value of the item of the projection optics PL in this example is hung up over the following table (1). In the table (1), the left end numeric character shows the refractive index [ as opposed to / in n / r / radius of curvature / of each lens side / d / the exposure wavelength of  $\lambda = 365\text{nm}$  for each lens spacing ] for the sequence of each lens side from a body side (Reticle R side). Moreover, d0 The 1st body (reticle R) to the 1st lens group G1 Most the shaft top distance to the lens side by the side of a body (Reticle R side) For beta, Bf is the 6th lens group G6 about the projection scale factor of projection optics PL. Most the shaft top distance from the lens side by the side of an image (Wafer W side) to the image surface (the Wth page of wafer) L is carrying out the table of the shaft top distance, i.e., length between object images, from a body side (the Rth page of reticle) to the image surface (the Wth page of wafer) for the numerical aperture [ NA ] by the side of the image of projection optics PL (Wafer W side), respectively.

[0044]

[A table 1]

d0 = 94.97557 beta = 1/5NA = 0.57 Bf = 22.68864 L = [ 1100 ] r d n 1 758.59372 18.01962 1.66638 2 273.07409 8.00000 3 407.25600 34.43806 1.53627 4 -305.98082 0.50000 5 200.00000 36.31512 1.53627 6 -950.89920 0.50000 7 251.3567036.00000 1.53627 8 -1111.20100 5.00000 9 -3000.00000 13.00000 1.6663810 103.53326 19.34714 11 583.43731 21.86239 1.5362712 -202.73262 3.71513 13 -389.07550 13.00000 1.5362714 118.39346 25.82991 15 -119.29984 13.00000 1.5362716 228.68065 35.35939 17 -118.78231 15.61439 1.5362718 -2000.00000 15.00000 19 -534.21970 30.58806 1.5362720 -172.96367 0.50000 21 -3045.95900 30.55054 1.5362722 -252.31005 0.50000 23 787.95642 31.33960 1.5362724 -470.11486 0.50000 25 429.05519 31.10739 1.5362726 -1033.56100 0.50000 27 276.54228 29.82671 1.5362728 3383.80700 0.50000 29 200.56082 25.00000 1.5362730 149.82206 51.17799 31 191.38232 25.00000 1.5362732 122.34204 25.15581 33 -276.65501 13.00000 1.6663834 -597.90043 9.14516 35 -190.18194 13.00000 1.6663836 360.79756 3.75310 37 434.45763 13.00000 1.5362738 643.56408 31.17056 39 -951.39487 20.00000 1.6663840 360.75541 3.46004 41 395.41239 33.29191 1.5362742 -229.24043 0.50000 43 405.02177 21.76952 1.5362744 -1456.27300 0.50000 45 334.62149 34.87065 1.5362746 -316.02886 8.19653 47 -226.66975 20.00000 1.6663848 -421.19119 0.50000 49 245.00959 27.62592 1.5362750 -6478.64400 0.50000 51 118.64887 24.82664 1.5362752 182.84804 0.50000 53 106.97354 29.80517 1.5362754 305.86346 2.86446 55 330.12685 13.00000 1.6663856 65.69252 7.67289 57 76.63392 29.80077 1.5362758 -405.45793 2.41289 59 -314.04117 20.42250 1.5362760 1180.34000 (Bf) (value corresponding to conditions)  
(1) f1 / L = 0.129 (2) f2 / L = -0.030 (3) f3 / L = 0.106 (4) f4 / L = -0.070 (5) f5 / L = 0.080 (6) f6 / L = 0.143 (7) I / L = 2.020 (8) and (r2 Ff-r2Fr) / (r2Ff+r2Fr) = 1.07 (9) d56/L = 0.007 (10) d6/r6F = 0.983 (11) f2F/f2R = 0.635 [0045] The amount of fluctuation of many aberration when moving only 0.1 micrometers of predetermined lenses in the direction perpendicular to an optical axis among the lenses which constitute the above-mentioned projection optics PL (unit: micrometer) is shown in the following table (2) with the tilt-angle coefficient alpha 1 by the side of incidence, and the tilt-angle coefficient alpha 2 by the side of injection.

[0046]

[A table 2]

Lens Distortion Comatic aberration Astigmatism alpha 1 alpha 2 L11 - 2.15 - 1.12 0.18 -0.20 -0.23 L12 0.41 0.45 -0.01 -

0.20 -0.16L13 1.59 1.64 -0.25 -0.08 - 0.07L2R 2.11 8.27-1.25 -0.89 -0.87L31 - 2.0 -9.0 1.04-0.96 -0.62L32 -0.93 0.21 0.45 -0.64-0.38L33 -0.63 8.79 0.10 -0.30 -0.15L34 - 0.83 11.01 0.02 0.01 0.08L35 - 1.44 8.99 0.12 0.33 0.31L46 0.22-36.12 -0.48 -0.53 -0.74L51 - 0.64 30.26 0.10 -0.58 -0.27L52 - 0.04 13.35 0.16 -0.10 -0.05L53-0.2835.87 0.017 0.39L54 0.31-38.33 0.01 0.02 0.22L55 0.2114.540 0.49 0.50L56 1.05 -1.03 0.18 1.03 0.74L58 -2.186.58 1.0 1.25 0.61 [0047] If the result of a table (2) is referred to, it is the 3rd optical member VC about a biconvex lens L33, a biconvex lens L34, a positive meniscus lens L35, a biconcave lens L46, a biconvex lens L51, a biconvex lens L52, a biconvex lens L53, a negative meniscus lens L54, and any one lens in a biconvex lens L55. By carrying out and making it move in the direction perpendicular to an optical axis shows that the comatic aberration which remains in projection optics PL can be amended. here -- the 3rd optical member VC \*\*\*\*\* -- in each of these usable lenses, the tilt-angle coefficient alpha 1 by the side of incidence or the tilt-angle coefficient alpha 2 by the side of injection has satisfied conditional expression (16), as shown in a table (2).

[0048] Moreover, it is the 2nd optical member VA about negative meniscus lens L2R, a positive meniscus lens L31, a positive meniscus lens L32, a positive meniscus lens L56, and any one lens in a negative meniscus lens L58. By carrying out and making it move in the direction perpendicular to an optical axis shows that the astigmatism which remains in projection optics PL can be amended. here -- the 2nd optical member VA \*\*\*\*\* -- in each of these usable lenses, the tilt-angle coefficient alpha 1 by the side of incidence or the tilt-angle coefficient alpha 2 by the side of injection has satisfied conditional expression (15), as shown in a table (2).

[0049] Furthermore, it is the 1st optical member VD about the negative meniscus lens L11 in the 1st lens group, a biconvex lens L12, and any one lens in a biconvex lens L13. By carrying out and making it move in the direction perpendicular to an optical axis shows that the distortion which remains in projection optics PL can be amended. here -- the 1st optical member VD \*\*\*\*\* -- the tilt-angle coefficient alpha 1 by the side of incidence or the tilt-angle coefficient alpha 2 by the side of injection shows each of these usable lenses in a table (2) -- as -- conditional expression (12) -- satisfied -- and the paraxial incidence high  $h_o$  And the incidence high  $h_p$  outside a shaft As shown in the following tables (3), conditional expression (13) and (14) are satisfied.

[0050]

[A table 3]

Each lens side  $h_p$   $h_o$   $\phi$  / incidence side lens side of 4L11 66.8 10.9 The injection side lens side of 44.8L11 64.4 12.0 The incidence side lens side of 45.1L12 64.4 13.1 The injection side lens side of 45.5L12 62.9 15.7 Incidence side lens side of 46.0L13 59.4 15.8 Injection side lens side of 45.7L13 52.9 16.9 44:8 [0051] Although each amendment member (VD, VC, and VA) can amend predetermined aberration in independent like the above, respectively The movement magnitude by each amendment member (VD, VC, and VA) Instead of the reticle R used at the time of exposure, the test reticle TR in which much marks for aberration measurement were formed is used. In the defocusing location [ location / of projection optics / the best focus location of projection optics, and / best focus ] shifted, it can ask by performing proof print (trial exposure) two or more times on the wafer W with which the pattern of the test reticle TR was applied to the resist. For this reason, the yield of many aberration including distortion, astigmatism, and comatic aberration can be obtained by measuring the pattern of the mark of a large number for each aberration measurement formed on two or more wafers W pass the production process of proof print using the test reticle TR using a metering device with an electron microscope etc.

[0052] And the aberration which remains in projection optics PL is removable what each amendment member (VD, VC, and VA) is moved for based on the amount of aberration of each acquired aberration through the measurement production process of aberration using metering devices, such as this electron microscope, (adjustment production process by the amendment member). If the wafer W (photosensitive substrate) with which the resist was applied on the wafer stage WS is set up and Reticle R is illuminated by the illumination-light study system IS while setting the reticle R in which Bataan for the usual exposure was formed as a reticle stage RS, after the above adjustment or amendment actuation is completed, on a wafer, the projection imprint of the more faithful reticle pattern will be carried out by projection optics PL. For this reason, a good semiconductor device can be obtained.

[0053] For example, the configuration described below, then the measured automatic regulation of aberration become possible. While forming the light-receiving means D, such as an optoelectric transducer for aberration measurement, in the end of the wafer stage WS which specifically holds the wafer W shown in drawing 4 the output signal from the light-receiving means -- being based -- each amendment member (VD and VC --) Prepare the amount calculation section of amendments which computes the movement magnitude of VA, and it is further based on an amendment signal from the amount calculation section of amendments. With constituting so that driving members (DE1 - DE3), such as a piezo-electric element prepared corresponding to each amendment member (VD, VC, and VA), may be made to drive, respectively, the automatic regulation of the measured aberration becomes possible.



[0054] At this time, the amount calculation section of amendments is prepared in the interior of the control system CS which controls the mechanical component DU equipped with the interferometer which measures the-like secondary location in the XY direction of the wafer stage WS, the motor to which the wafer stage WS is moved, and controls the location of the wafer stage WS. The information on the relation between the movement magnitude of each amendment member (VD, VC, and VA) and the variation of each aberration is beforehand memorized by this amount calculation section of amendments. In addition, the wafer stage WS is movable in the direction (Z direction) which it is not only movable in the field (XY plane) which intersects perpendicularly with the optical axis AX of projection optics PL through a mechanical component DU, but met the optical axis AX of projection optics PL by the mechanical component DU. And the projection system AF 1 which projects light towards the exposure field on Wafer W The detection system AF 2 which carries out the photoelectrical detection of the location of the light which reflects the exposure field on the wafer W When a control system CS controls the movement magnitude in the direction in alignment with the optical axis AX of the projection optics PL of a mechanical component DU by the focal detection system which it had based on the information by which photoelectrical detection was carried out, the location in the Z direction of the wafer stage WS is controlled.

[0055] Now, while making the test reticle TR in which much marks for aberration measurement were formed hold to a reticle stage RS instead of the reticle which performs the usual exposure and setting the pattern side of the test reticle TR as the body side of projection optics PL, the wafer stage WS is made to drive through a mechanical component DU, and the light-receiving means D is set up in the exposure field of projection optics PL. Then, the light-receiving means D detects each mark image of the test reticle TR etc. in photoelectricity through projection optics PL. The photo-electric-conversion signal from the light-receiving means D is incorporated controlling the location of the wafer stage WS based on the positional information of the Z direction in the light-receiving side of a light-receiving means D by which a control system CS is acquired by the focal detection system (AF1 and AF2) at this time, and the positional information in the XY direction of the light-receiving means D acquired with the interferometer inside mechanical-component DU. And the light-receiving means D carries out photoelectrical detection of each mark image of the test reticle TR in the defocusing location [ location / of projection optics PL / best focus ] shifted while carrying out photoelectrical detection of each mark image of the test reticle TR in the best focus location (image surface of projection optics PL) of projection optics PL.

[0056] Now, after the amount calculation section of amendments inside a control system CS computes the movement magnitude of each amendment member (VD, VC, and VA) based on each output signal from the light-receiving means D acquired using the test reticle TR, an amendment signal is outputted to each driving member (DE1 - DE3), and a driving member (DE1 - DE3) is made to drive, respectively. Migration in the direction which intersected perpendicularly with the optical axis AX of each amendment member (VD, VC, and VA) can be set automatically, respectively so that this may amend each aberration measured with the light-receiving means D, and the aberration which remains in projection optics PL can be removed. If the wafer W (photosensitive substrate) with which the resist was applied on the wafer stage WS is set up and Reticle R is illuminated by the illumination-light study system IS while setting the reticle R in which the pattern for the usual exposure was formed as a reticle stage RS, after the above adjustment or amendment actuation is completed, on a wafer, the projection imprint of the more faithful reticle pattern will be carried out by projection optics PL. For this reason, a good semiconductor device can be obtained.

[0057] In addition, although the example which prepared the amendment member was shown in the above example when all projection optics was constituted from a refractivity optical member, it does not have \*\* to say that it can apply to the projection optics of the reflective refraction mold containing a reflective mold optical member and a refractivity optical member etc. for example,, either, without restricting to this. In addition, although the above example showed the example which amends distortion (distortion aberration), comatic aberration, and astigmatism to coincidence, this invention may amend any one of the aberration of such. That is, in projection optics PL, if any one of distortion, comatic aberration, and the astigmatism remains, it is clear also from what is necessary being just to prepare the amendment member which amends the residual aberration.

[0058] In addition, in order to constitute a lens movable along the field which intersects perpendicularly with an optical axis in each optical member, a bis-push device can be used. By the bis-push device, while supporting a lens and loosening at least one screw on at least three screws which go in the direction of an optical axis, a lens can be moved two-dimensional by screwing in other screws. Moreover, the drive of a lens can also be constituted using other driver elements like a piezo-electric element.

[0059]

[Effect] As explained above, even if it originates in a manufacture error, an assembly error, etc. and many aberration, such as comatic aberration, astigmatism, and distortion, remains in projection optics, by this invention, the projection

aligner which can amend these residual aberrations at any time where projection optics is carried is realizable. Consequently, even if it makes high neither manufacture precision nor assembly precision, highly precise projection exposure can be performed through always highly efficient projection optics. Therefore, a good semiconductor device can be manufactured with the projection aligner of this invention.

---

[Translation done.]

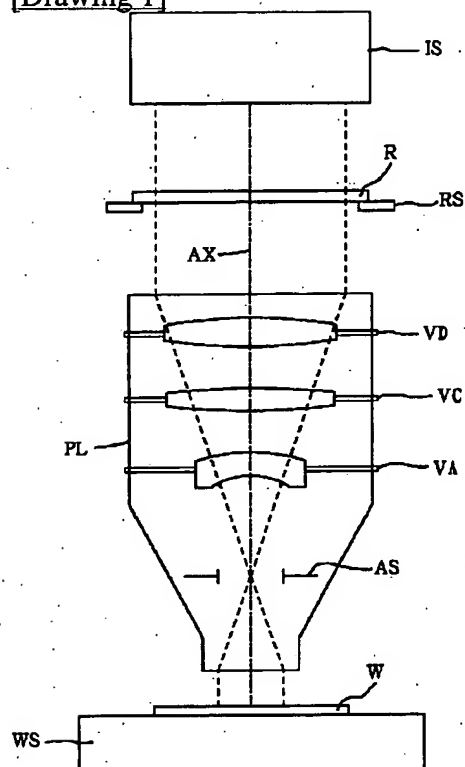
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

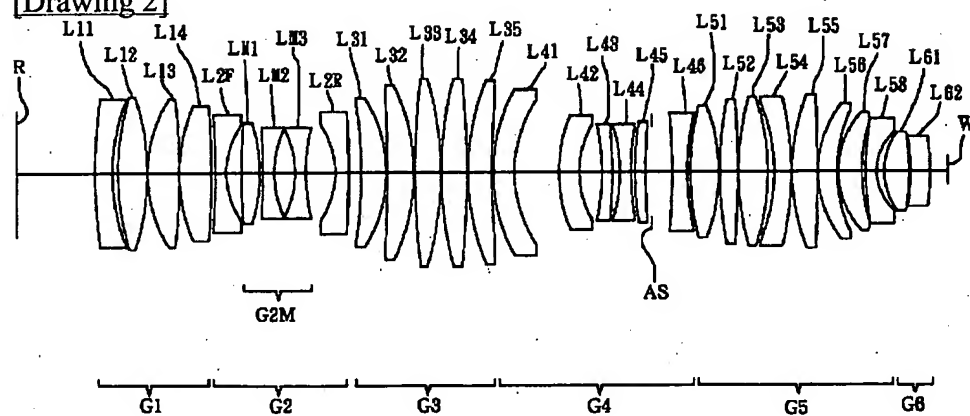
1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

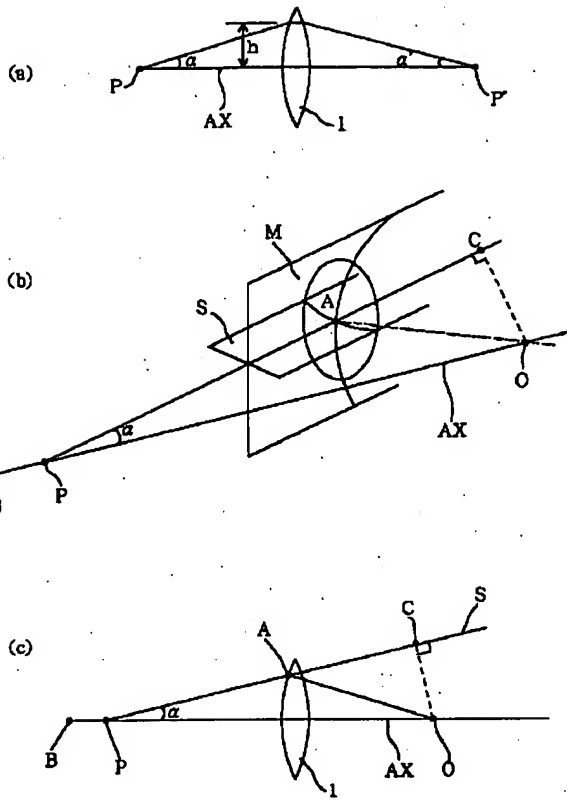
[Drawing 1]



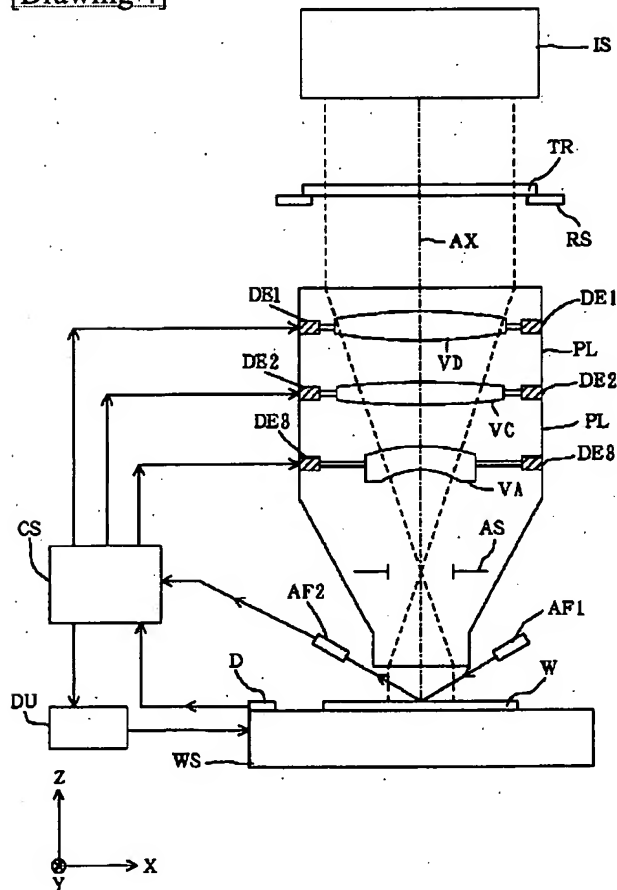
[Drawing 2]



[Drawing 3]



[Drawing 4]



[Translation done.]

(51) IntCl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 2 B 13/24

G 0 2 B 13/24

G 0 3 F 7/20

5 2 1

G 0 3 F 7/20

5 2 1

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数16 F D (全 15 頁)

(21) 出願番号

特願平8-309976

(22) 出願日

平成8年(1996)11月6日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 武内 麻衣子

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

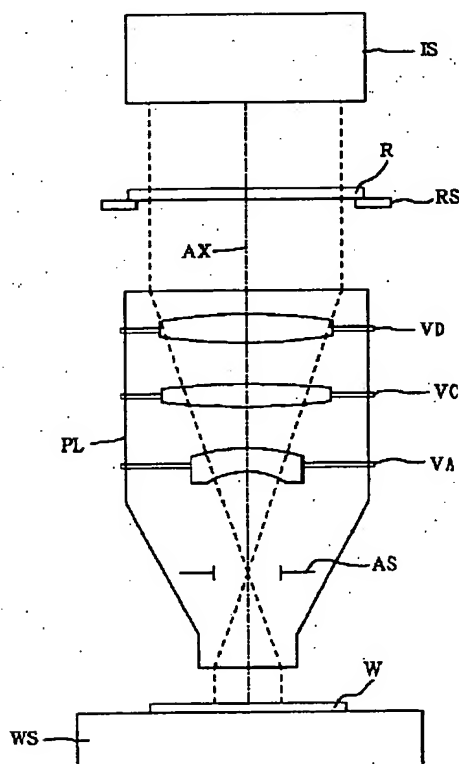
(74) 代理人 弁理士 山口 孝雄

(54) 【発明の名称】 投影露光装置および該投影露光装置を用いた半導体デバイスの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 製造誤差や組立誤差などに起因して投影光学系に残存するコマ収差や非点収差やディストーションなどを随時補正する。

【解決手段】 投影光学系 (P L) の光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて投影光学系内に残存するディストーションを補正するための第1光学部材  $V_D$  と、光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて投影光学系内に残存する非点収差を補正するための第2光学部材  $V_A$  と、光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて投影光学系内に残存するコマ収差を補正するための第3光学部材  $V_C$  とを備えている。





【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1物体を照明するための照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を第2物体上に投影するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記第1物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、負の屈折力を有する第4レンズ群と、正の屈折力を有する第5レンズ群と、正の屈折力を有する第6レンズ群とを備え、

前記投影光学系は、

前記投影光学系の光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存するディストーションを補正するための第1光学部材と、

前記光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存する非点収差を補正するための第2光学部材と、

前記光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存するコマ収差を補正するための第3光学部材とを備え、

前記第1光学部材は、前記第1レンズ群における少なくとも1つのレンズで構成され、

前記第2光学部材は、前記第1レンズ群以外のレンズ群における少なくとも1つのレンズで構成され、

前記第3光学部材は、前記第1レンズ群以外のレンズ群における少なくとも1つのレンズで構成されていることを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ とし、前記第2レンズ群の焦点距離を $f_2$ とし、前記第3レンズ群の焦点距離を $f_3$ とし、前記第4レンズ群の焦

$$1.00 \leq (r_{2fr} - r_{2fr}) / (r_{2fr} + r_{2fr}) < 5.0 \quad (8)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項6】 前記第5レンズ群と前記第6レンズ群との間の軸上空気間隔を $d_{56}$ とし、前記第1物体から前記第2物体までの軸上距離を $L$ とすると、

$$d_{56}/L < 0.017 \quad (9)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項7】 前記第6レンズ群の最も第1物体側のレンズ面の曲率半径を $r_{6r}$ とし、第6レンズ群の最も第1物体側のレンズ面から第2物体までの軸上距離を $d_6$ とすると、

$$0.50 < d_6 / r_{6r} < 1.50 \quad (10)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項8】 前記第2レンズ群中の前記前方レンズの焦点距離を $f_{2f}$ とし、前記第2レンズ群中の前記後方レ

点距離を $f_4$ とし、前記第5レンズ群の焦点距離を $f_5$ とし、前記第6レンズ群の焦点距離を $f_6$ とし、前記第1物体から前記第2物体までの軸上距離を $L$ とすると、

$$f_1/L < 0.8 \quad (1)$$

$$-0.033 < f_2/L \quad (2)$$

$$0.01 < f_3/L < 1.0 \quad (3)$$

$$f_4/L < -0.005 \quad (4)$$

$$0.01 < f_5/L < 0.9 \quad (5)$$

$$0.02 < f_6/L < 1.6 \quad (6)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1に記載の投影露光装置。

【請求項3】 前記第2レンズ群は、最も第1物体側に配置されて前記第2物体側に凹面を向けた負屈折力の前方レンズと、最も第2物体側に配置されて前記第1物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の後方レンズと、前記前方レンズと前記後方レンズとの間に配置された中間レンズ群とを有し、

前記中間レンズ群は、前記第1物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズと、負の屈折力を有する第2レンズと、負の屈折力を有する第3レンズとを少なくとも有することを特徴とする請求項1または2に記載の投影露光装置。

【請求項4】 前記第1物体から前記投影光学系全体の第1物体側焦点までの軸上距離を $I$ とし、前記第1物体から前記第2物体までの軸上距離を $L$ とすると、

$$1.0 < I/L \quad (7)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項5】 前記第2レンズ群中の前記前方レンズの第1物体側の面の曲率半径を $r_{2ff}$ とし、前記前方レンズの第2物体側の面の曲率半径を $r_{2fr}$ とすると、

レンズの焦点距離を $f_{2f}$ とすると、

$$0 \leq f_{2f}/f_{2f} < 1.8 \quad (11)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項9】 前記第1レンズ群は、少なくとも2枚の正レンズを有し、

前記第3レンズ群は、少なくとも3枚の正レンズを有し、

前記第4レンズ群は、少なくとも3枚の負レンズを有し、

前記第5レンズ群は、少なくとも5枚の正レンズと、少なくとも1枚の負レンズとを有し、

前記第6レンズ群は、少なくとも1枚の正レンズを有することを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項10】 前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前

記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前

$$|\alpha_1| \leq 0.3 \quad \text{または} \quad |\alpha_2| \leq 0.3 \quad (12)$$

の条件を満足するとともに、

前記第1物体の軸上物点からの最大開口数を有する周縁光束が前記投影光学系を構成する各レンズへ入射するときの入射高を $h_o$ とし、前記第1物体の最大物体高の点からの最大開口数を有する周縁光束が前記投影光学系を構成する各レンズへ入射するときの入射高を $h_p$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズの最大有効径を $\phi$ とすると、前記第1光学部材を構成するレンズは、

$$h_p \geq \phi/4 \quad (13)$$

$$h_o \leq \phi/4 \quad (14)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至9のい

$$0.6 < |\alpha_1| \quad \text{または} \quad 0.6 < |\alpha_2| \quad (15)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至10のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項12】 前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前

$$0 < |\alpha_1| \leq 0.6 \quad \text{または} \quad 0 < |\alpha_2| \leq 0.6 \quad (16)$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至11のいずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項13】 第1物体を照明するための照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を第2物体上に投影するために複数のレンズを有する投影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記投影光学系は、前記投影光学系の光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存するディストーションを補正するための光学部材を有し、

$$|\alpha_1| \leq 0.3 \quad \text{または} \quad |\alpha_2| \leq 0.3 \quad (12)$$

の条件を満足するとともに、

前記第1物体の軸上物点からの最大開口数を有する周縁光束が前記投影光学系を構成する各レンズへ入射するときの入射高を $h_o$ とし、前記第1物体の最大物体高の点からの最大開口数を有する周縁光束が前記投影光学系を構成する各レンズへ入射するときの入射高を $h_p$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズの最大有効径を $\phi$ とすると、前記光学部材を構成するレンズは、

$$h_p \geq \phi/4 \quad (13)$$

$$h_o \leq \phi/4 \quad (14)$$

の条件を満足することを特徴とする投影露光装置。

【請求項14】 第1物体を照明するための照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を第2物体上に投影するために複数のレンズを有する投

$$0.6 < |\alpha_1| \quad \text{または} \quad 0.6 < |\alpha_2| \quad (15)$$

記近軸光線の傾斜角を $\alpha_e$ とすると、前記第1光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha_1 = \alpha_i / \alpha'$  または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2 = \alpha_e / \alpha'$  は、

いずれか1項に記載の投影露光装置。

【請求項11】 前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_e$ とすると、前記第2光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha_1 = \alpha_i / \alpha'$  または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2 = \alpha_e / \alpha'$  は、

記近軸光線の傾斜角を $\alpha_i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_e$ とすると、前記第3光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha_1 = \alpha_i / \alpha'$  または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2 = \alpha_e / \alpha'$  は、

前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_e$ とすると、前記光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha_1 = \alpha_i / \alpha'$  または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2 = \alpha_e / \alpha'$  は、

影光学系とを備えた投影露光装置において、

前記投影光学系は、光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存する非点収差を補正するための光学部材を有し、

前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_e$ とすると、前記光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha_1 = \alpha_i / \alpha'$  または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2 = \alpha_e / \alpha'$  は、

の条件を満足することを特徴とする投影露光装置。

【請求項15】 第1物体を照明するための照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を第2物体上に投影するために複数のレンズを有する投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記投影光学系は、光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存するコマ収差を補正するための光学部材を有し、

$$0 < |\alpha_1| \leq 0.6 \quad \text{または} \quad 0 < |\alpha_2| \leq 0.6 \quad (16)$$

の条件を満足することを特徴とする投影露光装置。

【請求項16】 請求項1乃至15のいずれか1項に記載の投影露光装置を用いて、レチクル上に形成された所定のパターンを感光性基板に露光する工程を含むことを特徴とする、半導体デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影露光装置および該投影露光装置を用いた半導体デバイスの製造方法に関し、特に半導体製造用の投影露光装置における収差補正に関する。

【0002】

【従来の技術】たとえば半導体素子の製造に用いられる投影露光装置では、集積回路のパターンの微細化につれて、投影光学系に対して要求される性能がますます厳しくなっている。そして、要求性能が厳しくなにつれて、投影光学系を構成するレンズ枚数が増え、構成がますます複雑化している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】上述のように構成の複雑な投影光学系において所望の高性能を発揮するには、投影光学系を構成する個々のレンズ部品の製造精度や組立精度を高くする必要がある。しかしながら、個々のレンズ部品の製造精度や組立精度を高くしても、投影露光装置に搭載された投影光学系には、特にコマ収差や非点収差やディストーションなどの諸収差が残存してしまう。

【0004】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、製造誤差や組立誤差などに起因して投影光学系にコマ収差や非点収差やディストーションなどの諸収差が残存しても、投影光学系が搭載された状態でこれらの残存収差を随時補正することのできる投影露光装置および該投影露光装置を用いた半導体デバイスの製造方法を提供することを目的とする。

【0005】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明においては、第1物体を照明するための照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を第2物体上に投影するための投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記投影光学系

前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前記近軸光線の傾斜角を $\alpha_e$ とすると、前記光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha_1 = \alpha_i / \alpha'$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2 = \alpha_e / \alpha'$ は、

は、前記第1物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、負の屈折力を有する第4レンズ群と、正の屈折力を有する第5レンズ群と、正の屈折力を有する第6レンズ群とを備え、前記投影光学系は、前記投影光学系の光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存するディストーションを補正するための第1補正部材としての第1光学部材と、前記光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存する非点収差を補正するための第2補正部材としての第2光学部材と、前記光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存するコマ収差を補正するための第3補正部材としての第3光学部材とを備え、前記第1光学部材は、前記第1レンズ群における少なくとも1つのレンズで構成され、前記第2光学部材は、前記第1レンズ群以外のレンズ群における少なくとも1つのレンズで構成され、前記第3光学部材は、前記第1レンズ群以外のレンズ群における少なくとも1つのレンズで構成されていることを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0006】第1発明の好ましい態様によれば、前記第1レンズ群の焦点距離を $f_1$ とし、前記第2レンズ群の焦点距離を $f_2$ とし、前記第3レンズ群の焦点距離を $f_3$ とし、前記第4レンズ群の焦点距離を $f_4$ とし、前記第5レンズ群の焦点距離を $f_5$ とし、前記第6レンズ群の焦点距離を $f_6$ とし、前記第1物体から前記第2物体までの軸上距離を $L$ とすると、

$$f_1 / L < 0.8 \quad (1)$$

$$-0.033 < f_2 / L \quad (2)$$

$$0.01 < f_3 / L < 1.0 \quad (3)$$

$$f_4 / L < -0.005 \quad (4)$$

$$0.01 < f_5 / L < 0.9 \quad (5)$$

$$0.02 < f_6 / L < 1.6 \quad (6)$$

の条件を満足する。

【0007】また、第1発明の好ましい態様によれば、前記第2レンズ群は、最も第1物体側に配置されて前記第2物体側に凹面を向けた負屈折力の前方レンズと、最も第2物体側に配置されて前記第1物体側に凹面を向け

た負メニスカス形状の後方レンズと、前記前方レンズと前記後方レンズとの間に配置された中間レンズ群とを有し、前記中間レンズ群は、前記第1物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズと、負の屈折力を有する第2レンズと、負の屈折力を有する第3レンズとを少なくとも有する。さらに、前記第1物体から前記投影光学系全体の第1物体側焦点までの軸上距離をIとし、前記第1物体から前記第2物体までの軸上距離をLとすると

$$1. \quad 0 < I/L \quad (7)$$

の条件を満足することが好ましい。

【0008】本発明の第2発明においては、第1物体を照明するための照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を第2物体上に投影するために複数のレンズを有する投影光学系とを備えた投影露光

$$|\alpha 1| \leq 0.3 \quad \text{または} \quad |\alpha 2| \leq 0.3 \quad (12)$$

の条件を満足するとともに、前記第1物体の軸上物点からの最大開口数を有する周縁光束が前記投影光学系を構成する各レンズへ入射するときの入射高を $h_o$ とし、前記第1物体の最大物体高の点からの最大開口数を有する周縁光束が前記投影光学系を構成する各レンズへ入射するときの入射高を $h_p$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズの最大有効径を $\phi$ とすると、前記ディストーション補正用の光学部材を構成するレンズは、

$$h_p \geq \phi/4 \quad (13)$$

$$h_o \leq \phi/4 \quad (14)$$

の条件を満足することを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0009】本発明の第3発明においては、第1物体を照明するための照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を第2物体上に投影するため

$$0.6 < |\alpha 1| \quad \text{または} \quad 0.6 < |\alpha 2| \quad (15)$$

の条件を満足することを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0010】本発明の第4発明においては、第1物体を照明するための照明光学系と、該照明光学系によって照明された前記第1物体の像を第2物体上に投影するために複数のレンズを有する投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記投影光学系は、光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存するコマ収差を補正するためのコマ収差補正用の補正部材としての光学部材を有し、

$$0 < |\alpha 1| \leq 0.6 \quad \text{または} \quad 0 < |\alpha 2| \leq 0.6 \quad (16)$$

の条件を満足することを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0011】また、本発明は、以上の第1発明乃至第4発明のいずれかの投影露光装置を用いて、レチクル上に形成された所定のパターンを感光性基板に露光する工程を含むことを特徴とする、半導体デバイスの製造方法を提供する。

装置において、前記投影光学系は、前記投影光学系の光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存するディストーションを補正するためのディストーション補正用の補正部材としての光学部材を有し、前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前記近軸光線の傾斜角を $\alpha i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前記近軸光線の傾斜角を $\alpha e$ とすると、前記ディストーション補正用の光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha 1 = \alpha i / \alpha'$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha 2 = \alpha e / \alpha'$ は、

に複数のレンズを有する投影光学系とを備えた投影露光装置において、前記投影光学系は、光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されて前記投影光学系内に残存する非点収差を補正するための非点収差補正用の補正部材としての光学部材を有し、前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前記近軸光線の傾斜角を $\alpha i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前記近軸光線の傾斜角を $\alpha e$ とすると、前記非点収差補正用の光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha 1 = \alpha i / \alpha'$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha 2 = \alpha e / \alpha'$ は、

前記第1物体の軸上物点から傾斜角 $\alpha$ で前記投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で前記第2物体に入射する場合において、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第1物体側の面に入射する前記近軸光線の傾斜角を $\alpha i$ とし、前記投影光学系を構成する各レンズでの前記第2物体側の面から射出される前記近軸光線の傾斜角を $\alpha e$ とすると、前記コマ収差補正用の光学部材を構成するレンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha 1 = \alpha i / \alpha'$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha 2 = \alpha e / \alpha'$ は、

【0012】

【発明の実施の形態】本発明の投影光学系は、第1物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、負の屈折力を有する第4レンズ群と、正の屈折力を有する第5レンズ群と、正の屈折力を有する第6レンズ群とを備えている。正の屈折力を有する第1

レンズ群は、テレセントリック性を維持しながら主にディストーションの補正に寄与している。具体的には、第1レンズ群において正のディストーションを発生させて、第1レンズ群よりも第2物体側に配置された複数のレンズ群において発生する負のディストーションをバランス良く補正している。負の屈折力を有する第2レンズ群および負の屈折力を有する第4レンズ群は、主にベッツパール和の補正に寄与し、像面の平坦化を図っている。負の屈折力を有する第2レンズ群と正の屈折力を有する第3レンズ群とは、逆望遠系を形成しており、投影光学系のバックフォーカス（投影光学系の最も第2物体側のレンズ面から第2物体までの軸上距離）の確保に寄与している。正の屈折力を有する第5レンズ群および同じく正の屈折力を有する第6レンズ群は、主として、ディストーションの発生を抑えることと、第2物体側での高NA化に十分対応するために特に球面収差の発生を極力抑えることとに寄与している。

【0013】本発明では、投影光学系内に残存するディストーションを補正するためのディストーション補正用の第1補正部材としての第1光学部材と、残存する非点収差を補正するための非点収差補正用の第2補正部材としての第2光学部材と、残存するコマ収差を補正するためのコマ収差補正用の第3補正部材としての第3光学部材とを有する。なお、第1光学部材は、第1レンズ群中において光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されている。また、第2光学部材および第3光学部材は、第1レンズ群以外、すなわち第2レンズ群～第6レンズ群での所定のレンズ群中において光軸と直交する面に沿って移動可能な少なくとも1つのレンズから構成されている。特に、第2光学部材および第3光学部材は、収差の補正を分担するために、第1レンズ群以外の複数のレンズ群に設けられてもよい。したがって、本発明によれば、製造誤差や組立誤差などに起因して投影光学系にコマ収差や非点収差やディストーションなどの諸収差が残存しても、第1光学部材～第3光学部材の作用により、投影露光装置に搭載された状態でこれらの残存収差を随時良好に補正することができる。すなわち、製造精度や組立精度を高くしなくても、常に高性能な投影光学系を介して高精度な投影露光を行うことができる。

【0014】なお、本発明においては、以下の条件式(1)～(6)を満足することが好ましい。

$$f_1/L < 0.8 \quad (1)$$

$$-0.033 < f_2/L \quad (2)$$

$$0.01 < f_3/L < 1.0 \quad (3)$$

$$f_4/L < -0.005 \quad (4)$$

$$0.01 < f_5/L < 0.9 \quad (5)$$

$$0.02 < f_6/L < 1.6 \quad (6)$$

【0015】条件式(1)では、正屈折力の第1レンズ群の焦点距離 $f_1$ と第1物体（レチクル等）から第2物

体（ウエハ等）までの軸上距離（物像間距離） $L$ との最適な比率を規定している。条件式(1)は、主にディストーションをバランス良く補正するための条件式である。条件式(1)の上限値を上回ると、負のディストーションが大きく発生するので好ましくない。なお、所定の縮小倍率および広い露光領域を確保しつつコンパクト化を図るとともに、ディストーションをさらに良好に補正するには、条件式(1)の上限値を0.14とすることが好ましい。また、瞳の球面収差の発生をさらに良好に抑えるためには、条件式(1)に下限値を設定し、その値を0.02とすることが好ましい。

【0016】条件式(2)では、負屈折力の第2レンズ群の焦点距離 $f_2$ と第1物体から第2物体までの軸上距離（物像間距離） $L$ との最適な比率を規定している。条件式(2)は、広い露光領域を確保しつつコンパクト化を図り、且つベッツパール和を良好に補正するための条件式である。条件式(2)の下限値を下回ると、広い露光領域を確保しつつコンパクト化を達成することが困難となるばかりでなく、正のベッツパール和が発生するので好ましくない。なお、さらなるコンパクト化の達成、あるいはベッツパール和のさらに良好な補正のためには、条件式(2)の下限値を-0.032とすることが好ましい。また、負のディストーションの発生をさらに良好に抑えるためには、条件式(2)に上限値を設定し、その値を-0.005とすることが好ましい。

【0017】条件式(3)では、正屈折力の第3レンズ群の焦点距離 $f_3$ と第1物体から第2物体までの軸上距離（物像間距離） $L$ との最適な比率を規定している。条件式(3)の下限値を下回ると、第2レンズ群の屈折力あるいは第4レンズ群の屈折力が強くなる。その結果、第2レンズ群においては負のディストーションおよびコマ収差の発生を招き、第4レンズ群においてはコマ収差の発生を招くので好ましくない。一方、条件式(3)の上限値を上回ると、第2レンズ群あるいは第4レンズ群の屈折力が弱くなり、ベッツパール和を良好に補正することができなくなるので好ましくない。

【0018】条件式(4)では、負屈折力の第4レンズ群の焦点距離 $f_4$ と第1物体から第2物体までの軸上距離（物像間距離） $L$ との最適な比率を規定している。条件式(4)の上限値を上回ると、コマ収差が発生するため好ましくない。なお、コマ収差の発生をさらに良好に抑えるためには、条件式(4)の上限値を-0.047とすることが好ましい。また、球面収差を良好に補正するためには、条件式(4)に下限値を設定し、その値を-0.098とすることが好ましい。

【0019】条件式(5)では、正屈折力の第5レンズ群の焦点距離 $f_5$ と第1物体から第2物体までの軸上距離（物像間距離） $L$ との最適な比率を規定している。条件式(5)は、大きな開口数NAを保ちながら球面収差、ディストーションおよびベッツパール和をバランス



良く補正するための条件式である。条件式(5)の下限値を下回ると、第5レンズ群の正屈折力が強くなり過ぎる。その結果、第5レンズ群において負のディストーションのみならず負の球面収差が基大に発生するので好ましくない。一方、条件式(5)の上限値を上回ると、第5レンズ群の正屈折力が弱くなり過ぎて、第4レンズ群の負屈折力も必然的に弱くなる。その結果、ベッツパールの和を良好に補正することができなくなるので好ましくない。

【0020】条件式(6)では、正屈折力の第6レンズ群の焦点距離 $f_6$ と第1物体から第2物体までの軸上距離(物像間距離) $L$ との最適な比率を規定している。条件式(6)は、大きな開口数を保ちながら高次の球面収差および負のディストーションの発生を抑えるための条件式である。条件式(6)の下限値を下回ると、第6レンズ群自体において負のディストーションが大きく発生するので好ましくない。一方、条件式(6)の上限値を上回ると、高次の球面収差が発生するので好ましくない。

【0021】また、第2レンズ群において、最も第1物体側には、第2物体側に凹面を向けた負の屈折力を有する前方レンズが配置されていることが好ましい。この前方レンズにより、像面湾曲、コマ収差の補正を良好に行うことができる。さらに、第2レンズ群において、最も第2物体側には、第1物体側に凹面を向けた負メニスカス形状の後方レンズが配置されていることが好ましい。この後方レンズにより、主にコマ収差の補正を良好に行うとともに、像面湾曲の補正も行うことができる。また、第2レンズ群において、前方レンズと後方レンズとの間には、第1物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズと、負の屈折力を有する第2レンズと、負の屈折力を有する第3レンズとを少なくとも有する中間レン

$$1. 0.0 \leq (r_{2ff} - r_{2fr}) / (r_{2ff} + r_{2fr}) < 5.0 \quad (8)$$

条件式(8)の下限値を下回ると、瞳の球面収差の補正を十分に行うことができなくなるため好ましくない。一方、条件式(8)の上限値を上回ると、コマ収差が発生するため好ましくない。

【0025】また、本発明においては、第5レンズ群と第6レンズ群との間の軸上空気間隔を $d_{56}$ とし、第1物体から第2物体までの軸上距離を $L$ とすると、次の条件式(9)を満足することが好ましい。

$$d_{56}/L < 0.017 \quad (9)$$

条件式(9)の上限値を上回ると、第5レンズ群と第6レンズ群との間の空気間隔が大きくなり、正のディストーションの発生量が小さくなる。その結果、第5レンズ群中の正レンズにおいて発生する負のディストーションをバランス良く補正することが困難となるので好ましくない。

【0026】また、本発明においては、第6レンズ群の最も第1物体側のレンズ面の曲率半径を $r_{6f}$ とし、第6

ズ群が配置されていることが好ましい。この場合、この第1レンズにより、像面湾曲の補正に大きく寄与している第2レンズおよび第3レンズにおいて発生する負のディストーションの補正を良好に行うことができる。

【0022】また、本発明においては、次の条件式(7)を満足することが好ましい。

$$1. 0 < I/L \quad (7)$$

条件式(7)では、第1物体から投影光学系全体の第1物体側焦点までの軸上距離 $I$ と、第1物体から第2物体までの軸上距離 $L$ との最適な比率を規定している。ここで、投影光学系全体の第1物体側焦点とは、投影光学系の光軸に対して近軸領域での平行光を投影光学系の第2物体側から入射させたとき、その近軸領域の光が投影光学系から射出されて光軸と交わる点を意味する。

【0023】条件式(7)の下限値を下回ると、投影光学系の第1物体側でのテレセントリック性が大幅に崩れて、第1物体の光軸方向のずれに起因する倍率の変動並びにディストーションの変動が大きくなる。その結果、第1物体の像を所望の倍率のもとで忠実に第2物体上に投影することが困難となるので好ましくない。なお、第1物体の光軸方向のずれに起因する倍率の変動並びにディストーションの変動をさらに良好に抑えるためには、条件(7)の下限値を1.7とすることが好ましい。また、投影光学系のコンパクト化を維持しながら、瞳の球面収差およびディストーションを共にバランス良く補正するためには、条件式(7)に上限値を設定し、その値を6.8とすることが好ましい。

【0024】また、本発明においては、第2レンズ群中の前方レンズの第1物体側の面の曲率半径を $r_{2ff}$ とし、前方レンズの第2物体側の面の曲率半径を $r_{2fr}$ とすると、次の条件式(8)を満足することが好ましい。

$$1. 0.0 \leq (r_{2ff} - r_{2fr}) / (r_{2ff} + r_{2fr}) < 5.0 \quad (8)$$

レンズ群の最も第1物体側のレンズ面から第2物体までの軸上距離を $d_6$ とすると、次の条件式(10)を満足することが好ましい。

$$0.50 < d_6/r_{6f} < 1.50 \quad (10)$$

条件式(10)の下限値を下回ると、第6レンズ群の最も第1物体側のレンズ面の正屈折力が強くなり過ぎるため、負のディストーションおよびコマ収差が大きく発生するので好ましくない。条件式(10)の上限値を上回ると、第6レンズ群の最も第1物体側のレンズ面の正屈折力が弱くなり過ぎるため、コマ収差が大きく発生するので好ましくない。なお、コマ収差の発生をさらに良好に抑えるためには、条件式(10)の下限値を0.84とすることが望ましい。

【0027】また、本発明においては、次の条件式(11)を満足することが好ましい。

$$0 \leq f_{2f}/f_{2r} < 1.8 \quad (11)$$

条件式(11)では、第2レンズ群中の後方レンズの焦

点距離  $f_{22}$  と第2レンズ群中の前方レンズの焦点距離  $f_{2f}$  との最適な比率を規定している。条件式 (11) の下限値および上限値で限定された範囲を逸脱すると、第1レンズ群あるいは第3レンズ群の屈折力のバランスが崩れ、ディストーションを良好に補正すること、あるいはベッツバル和と非点収差とを同時に良好に補正することが困難となるので好ましくない。

【0028】具体的には、投影光学系を構成する各レンズ群において十分な収差機能を発揮させるには、以下のように構成することが望ましい。第1レンズ群において高次のディストーション並びに瞳の球面収差の発生を抑える機能を発揮させるには、第1レンズ群が少なくとも2枚の正レンズを有することが好ましい。また、第3レンズ群において球面収差およびベッツバル和の悪化を抑える機能を発揮させるには、第3レンズ群が少なくとも3枚の正レンズを有することが好ましい。さらに、第4レンズ群においてベッツバル和を補正しつつコマ収差の発生を抑える機能を発揮させるには、第4レンズ群が少なくとも3枚の負レンズを有することが好ましい。

【0029】また、第5レンズ群において負のディストーションおよび球面収差の発生を抑える機能を発揮させるには、第5レンズ群が少なくとも5枚の正レンズを有することが好ましい。さらに、第5レンズ群において負のディストーションとベッツバル和とを補正する機能を発揮させるには、第5レンズ群が少なくとも1枚の負レンズを有することが好ましい。また、第6レンズ群において球面収差を大きく発生させないように第2物体上に集光させるには、この第6レンズ群が少なくとも1枚の正レンズを有することが好ましい。

【0030】図3は、本発明の収差補正の原理を説明するための図である。図3(a)において、レンズ1の光軸AX上の物点Pからの光線が、光軸AXに対する傾斜角 $\alpha$ でレンズ1に入射する。レンズ1で屈折された光線は、光軸AXに対する傾斜角 $\alpha'$ で光軸AX上の点P'に入射する。このように、本発明において、光線の光軸に対する角度を傾斜角という。一方、図3(b)において、レンズ1の入射面を形成する球面の曲率中心Oと点Bとを結ぶ線BOが、レンズ1の光軸AXを構成している。入射光線PAは光軸BOに対して傾斜角 $\alpha$ で傾いており、光線PAと光軸BOとを含んだ面がメリディオナル面Mを、光線PAを含んでメリディオナル面Mと直交する面がサジタル面Sを構成している。なお、サジタル面Sとレンズ1の入射面との交差線は、点Cを曲率中心とする円弧を形成する。

【0031】図3(c)のメリディオナル面Mに沿った

$$|\alpha_1| \leq 0.3 \quad \text{または} \quad |\alpha_2| \leq 0.3 \quad (12)$$

$$hp \geq \phi/4 \quad (13)$$

$$ho \leq \phi/4 \quad (14)$$

ここで、 $\phi$ は各レンズの最大有効径(直径)である。

【0035】また、本発明においては、入射側の傾斜角

断面図に示すように、入射光線PAの傾斜角 $\alpha$ が大きくなるにしたがって、サジタル面Sにおける曲率半径OCが小さくなる。換言すれば、入射光線PAの傾斜角 $\alpha$ が大きくなるにしたがって、メリディオナル面Mにおける曲率半径OAとサジタル面Sにおける曲率半径ACとの差が大きくなる。こうして、所定の傾斜角 $\alpha$ を有する入射光線PAは、メリディオナル面Mにおいては曲率半径OAに応じて屈折され、サジタル面Sにおいては曲率半径OCに応じて屈折される。その結果、入射光線PAの傾斜角 $\alpha$ が大きくなるにしたがってメリディオナル面Mでの結像位置とサジタル面Sでの結像位置とが異なることになる。

【0032】図3のレンズ1が投影光学系である場合、第1物体の軸上物点Pから傾斜角 $\alpha$ で投影光学系に入射した近軸光線が傾斜角 $\alpha'$ で像面すなわち第2物体に入射することになる。本発明においては、投影光学系を構成する各レンズ(または各レンズ群中の各レンズ)の入射側の傾斜角係数 $\alpha_1$ および射出側の傾斜角係数 $\alpha_2$ という概念を導入する。すなわち、投影光学系(または各レンズ群)の各レンズの入射面(第1物体側の面)に入射する上述の近軸光線の傾斜角を $\alpha_i$ とし、投影光学系(または各レンズ群)の各レンズの射出面(第2物体側の面)から射出される近軸光線の傾斜角を $\alpha_e$ とし、投影光学系(または各レンズ群)の各レンズの入射側の傾斜角係数 $\alpha_1$ および射出側の傾斜角係数 $\alpha_2$ を次の式

(a) および (b) で定義する。

$$\alpha_1 = \alpha_i / \alpha' \quad (a)$$

$$\alpha_2 = \alpha_e / \alpha' \quad (b)$$

【0033】また、本発明においては、投影光学系の各レンズ面への光線の入射高hに関連して、近軸入射高 $h_o$ および軸外入射高 $h_p$ という概念を導入する。近軸入射高 $h_o$ は、第1物体の軸上物点からの最大開口数を有する周縁光束が投影光学系(または各レンズ群)の各レンズへ入射するときのその周縁光束の入射高である。また、軸外入射高 $h_p$ は、第1物体の最大物体高の点からの最大開口数を有する周縁光束が投影光学系(または各レンズ群)の各レンズへ入射するときのその周縁光束の入射高である。

【0034】こうして、本発明においては、入射側の傾斜角係数 $\alpha_1$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2$ が次の条件式(12)を満足し且つ近軸入射高 $h_o$ および軸外入射高 $h_p$ が次の条件式(13)および(14)を満足する第1レンズ群中のレンズを第1光学部材として光軸と垂直な方向に移動させることによって、残存するディストーションを補正することが可能になる。

係数 $\alpha_1$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2$ が次の条件式

(15)を満足するレンズを第2光学部材として光軸と

垂直な方向に移動させることによって、残存する非点収差を補正することが可能になる。

$$0.6 < |\alpha 1| \quad \text{または} \quad 0.6 < |\alpha 2| \quad (15)$$

さらに、本発明においては、入射側の傾斜角係数 $\alpha 1$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha 2$ が次の条件式(16)を満足するレンズを第3光学部材として光軸と垂直な方向に

$$0 < |\alpha 1| \leq 0.6 \quad \text{または} \quad 0 < |\alpha 2| \leq 0.6 \quad (16)$$

【0036】本発明の実施例を、添付図面に基いて説明する。図1は、本発明の実施例にかかる投影露光装置の構成を概略的に示す図である。また、図2は、図1の投影光学系PLのレンズ構成を示す図である。図1において、投影光学系PLの物体面には所定の回路パターンが形成された投影原版としてのレチクルR(第1物体)が配置されており、投影光学系PLの像面には感光性基板としてのウエハW(第2物体)が配置されている。ここで、レチクルRはレチクルステージRS上に保持されており、ウエハWは投影光学系PLの光軸AXに垂直な面に沿って2次元的に移動可能に構成されたウエハステージWS上に保持されている。

【0037】また、レチクルRの上方には、レチクルRを均一照明するための照明光学装置ISが配置されている。照明光学装置ISの内部には、たとえばi線(365nm)の光を供給する水銀ランプのような光源が配置されている。照明光学装置ISから供給される光は、レチクルRを照明し、投影光学系PLの瞳位置(開口絞りASの位置)には照明光学装置IS中の光源の像が形成される。すなわち、照明光学装置ISは、レチクルRをケラー照明のもとで均一照明する。そして、投影光学系PLにより、ケラー照明されたレチクルRのパターン像がウエハW上に露光(転写)される。そして、図1に示した投影露光装置による露光の工程(フォトリソグラフィ工程)を経たウエハは、現像する工程を経てから現像したレジスト以外の部分を除去するエッチングの工程、エッチングの工程後の不要なレジストを除去するレジスト除去の工程等を経てウエハプロセスが終了する。そして、ウエハプロセスが終了すると、実際の組立工程にて、焼き付けられた回路毎にウエハを切断してチップ化するダイシング、各チップに配線等を付与するボンディング、各チップ毎にパッケージングするパッケージング等の各工程を経て、最終的にデバイスとしての半導体装置(LSI等)が製造される。なお、以上には、投影露光装置を用いたウエハプロセスでのフォトリソグラフィ工程により半導体素子を製造する例を示したが、露光装置を用いたフォトリソグラフィ工程によって、半導体装置として、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド、撮像素子(CCD等)を製造することができる。

【0038】なお、投影光学系PLには、残存するディストーションを補正するための第1光学部材V<sub>D</sub>、残存する非点収差を補正するための第2光学部材V<sub>A</sub>、および残存するコマ収差を補正するための第3光学部材V<sub>C</sub>が設けられている。第1光学部材V<sub>D</sub>、第2光学部材V<sub>A</sub>および第3光学部材V<sub>C</sub>は、光軸と直交する面に沿っ

移動させることによって、残存するコマ収差を補正する。

て移動可能な所定のレンズからそれぞれ構成されている。なお、各光学部材として使用可能なレンズについては、後述する。

【0039】図2を参照すると、投影光学系PLは、第1物体としてのレチクルR側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G<sub>1</sub>と、負の屈折力を有する第2レンズ群G<sub>2</sub>と、正の屈折力を有する第3レンズ群G<sub>3</sub>と、負の屈折力を有する第4レンズ群G<sub>4</sub>と、正の屈折力を有する第5レンズ群G<sub>5</sub>と、正の屈折力を有する第6レンズ群G<sub>6</sub>とから構成されている。投影光学系PLは、物体側(レチクルR側)および像側(ウエハW側)において実質的にテレセントリックであり、縮小倍率を有する。

【0040】第1レンズ群G<sub>1</sub>は、物体側から順に、像側に凹面を向けた負メニスカスレンズL<sub>11</sub>と、物体側に凸面を向けた両凸レンズL<sub>12</sub>と、物体側に強い曲率の面を向けた2枚の両凸レンズL<sub>13</sub>およびL<sub>14</sub>とから構成されている。第2レンズ群G<sub>2</sub>は、最も物体側に配置された両凹レンズL<sub>21</sub>(前方レンズ)と、最も像側に配置されて物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL<sub>22</sub>(後方レンズ)と、両凹レンズL<sub>21</sub>と負メニスカスレンズL<sub>22</sub>との間に配置されて負の屈折力を有する中間レンズ群G<sub>23</sub>とから構成されている。中間レンズ群G<sub>23</sub>は、物体側から順に、像側に強い曲率の面を向けた両凸レンズL<sub>31</sub>(第1レンズ)と、像側に強い曲率の面を向けた両凹レンズL<sub>32</sub>(第2レンズ)と、物体側に強い曲率の面を向けた両凹レンズL<sub>33</sub>(第3レンズ)とから構成されている。

【0041】第3レンズ群G<sub>3</sub>は、物体側から順に、像側に強い曲率の面を向けた2枚の正メニスカスレンズL<sub>31</sub>およびL<sub>32</sub>と、両凸レンズL<sub>33</sub>と、物体側に強い曲率の面を向けた両凸レンズL<sub>34</sub>と、物体側に強い曲率の面を向けた正メニスカスレンズL<sub>35</sub>とから構成されている。第4レンズ群G<sub>4</sub>は、物体側から順に、像側に凹面を向けた2枚の負メニスカスレンズL<sub>41</sub>およびL<sub>42</sub>と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL<sub>43</sub>と、両凹レンズL<sub>44</sub>と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL<sub>45</sub>と、物体側に凹面を向けた両凹レンズL<sub>46</sub>とから構成されている。

【0042】第5レンズ群G<sub>5</sub>は、物体側から順に、像側に凸面を向けた2枚の両凸レンズL<sub>51</sub>およびL<sub>52</sub>と、両凸レンズL<sub>53</sub>と、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズL<sub>54</sub>と、物体側により強い曲率の面を向けた両凸レンズL<sub>55</sub>と、物体側により強い曲率の面を向けた形状の2枚の正メニスカスレンズL<sub>56</sub>およびL<sub>57</sub>と、像側に

凹面を向けた負メニスカスレンズ $L_{58}$ とから構成されている。第6レンズ群 $G_6$ は、物体側から順に、物体側により強い曲率の面を向けた両凸レンズ $L_{61}$ と、物体側に凹面を向けた両凹レンズ $L_{62}$ とから構成されている。また、正メニスカスレンズ $L_{45}$ と両凹レンズ $L_{46}$ との間には、開口絞りASが配置されている。

【0043】次の表(1)に、本実施例における投影光学系PLの諸元の値を掲げる。表(1)において、左端の数字は物体側(レチクルR側)からの各レンズ面の順序を、 $r$ は各レンズ面の曲率半径を、 $d$ は各レンズ面間隔を、 $n$ は露光波長 $\lambda = 365\text{ nm}$ に対する屈折率を示

している。また、 $d_0$ は第1物体(レチクルR)から第1レンズ群 $G_1$ の最も物体側(レチクルR側)のレンズ面までの軸上距離を、 $\beta$ は投影光学系PLの投影倍率を、 $Bf$ は第6レンズ群 $G_6$ の最も像側(ウエハW側)のレンズ面から像面(ウエハW面)までの軸上距離を、NAは投影光学系PLの像側(ウエハW側)における開口数を、 $L$ は物体面(レチクルR面)から像面(ウエハW面)までの軸上距離すなわち物像間距離をそれぞれ表している。

【0044】

【表1】

	$d_0 = 94.97557$		
	$\beta = 1/5$		
	$NA = 0.57$		
	$Bf = 22.68864$		
	$L = 1100$		
	$r$	$d$	$n$
1	758.59372	18.01962	1.66638
2	273.07409	8.00000	
3	407.25600	34.43806	1.53627
4	-305.98082	0.50000	
5	200.00000	36.31512	1.53627
6	-950.89920	0.50000	
7	251.35670	36.00000	1.53627
8	-1111.20100	5.00000	
9	-3000.00000	13.00000	1.66638
10	103.53326	19.34714	
11	583.43731	21.86239	1.53627
12	-202.73262	3.71513	
13	-389.07550	13.00000	1.53627
14	118.39346	25.82991	
15	-119.29984	13.00000	1.53627
16	228.68065	35.35939	
17	-118.78231	15.61439	1.53627
18	-2000.00000	15.00000	
19	-534.21970	30.58806	1.53627
20	-172.96367	0.50000	
21	-3045.95900	30.55054	1.53627
22	-252.31005	0.50000	
23	787.95642	31.33960	1.53627
24	-470.11486	0.50000	
25	429.05519	31.10739	1.53627
26	-1033.56100	0.50000	
27	276.54228	29.82671	1.53627
28	3383.80700	0.50000	
29	200.56082	25.00000	1.53627
30	149.82206	51.17799	
31	191.38232	25.00000	1.53627
32	122.34204	25.15581	
33	-276.65501	13.00000	1.66638

34	-597.90043	9.14516	
35	-190.18194	13.00000	1.66638
36	360.79756	3.75310	
37	434.45763	13.00000	1.53627
38	643.56408	31.17056	
39	-951.39487	20.00000	1.66638
40	360.75541	3.46004	
41	395.41239	33.29191	1.53627
42	-229.24043	0.50000	
43	405.02177	21.76952	1.53627
44	-1456.27300	0.50000	
45	334.62149	34.87065	1.53627
46	-316.02886	8.19653	
47	-226.66975	20.00000	1.66638
48	-421.19119	0.50000	
49	245.00959	27.62592	1.53627
50	-6478.64400	0.50000	
51	118.64887	24.82664	1.53627
52	182.84804	0.50000	
53	106.97354	29.80517	1.53627
54	305.86346	2.86446	
55	330.12685	13.00000	1.66638
56	65.69252	7.67289	
57	76.63392	29.80077	1.53627
58	-405.45793	2.41289	
59	-314.04117	20.42250	1.53627
60	1180.34000	(Bf)	

(条件対応値)

(1) $f_1/L$	= 0.129
(2) $f_2/L$	= -0.030
(3) $f_3/L$	= 0.106
(4) $f_4/L$	= -0.070
(5) $f_5/L$	= 0.080
(6) $f_6/L$	= 0.143
(7) $I/L$	= 2.020
(8) $(r_{2Ff} - r_{2Fr}) / (r_{2Ff} + r_{2Fr})$	= 1.07
(9) $d_{56}/L$	= 0.007
(10) $d_6/r_{6F}$	= 0.983
(11) $f_{2F}/f_{2R}$	= 0.635

【0045】 上述の投影光学系PLを構成するレンズのうち、所定のレンズを光軸に垂直な方向に0.1 $\mu$ mだけ移動させたときの諸収差の変動量(単位： $\mu$ m)を、入射側の傾斜角係数 $\alpha 1$ および射出側の傾斜角係数 $\alpha 2$

とともに次の表(2)に示す。

【0046】

【表2】

レンズ	ディストーション	コマ収差	非点収差	$\alpha 1$	$\alpha 2$
L <sub>11</sub>	-2.15	-1.12	0.18	-0.20	-0.23
L <sub>12</sub>	0.41	0.45	-0.01	-0.20	-0.16
L <sub>13</sub>	1.59	1.64	-0.25	-0.08	-0.07
L <sub>2R</sub>	2.11	8.27	-1.25	-0.89	-0.87
L <sub>31</sub>	-2.0	-9.0	1.04	-0.96	-0.62
L <sub>32</sub>	-0.93	0.21	0.45	-0.64	-0.38



$L_{33}$	-0.63	8.79	0.10	-0.30	-0.15
$L_{34}$	-0.83	11.01	0.02	0.01	0.08
$L_{35}$	-1.44	8.99	0.12	0.33	0.31
$L_{46}$	0.22	-36.12	-0.48	-0.53	-0.74
$L_{51}$	-0.64	30.26	0.10	-0.58	-0.27
$L_{52}$	-0.04	13.35	0.16	-0.10	-0.05
$L_{53}$	-0.28	35.87	0	0.17	0.39
$L_{54}$	0.31	-38.33	0.01	0.02	0.22
$L_{55}$	0.21	14.54	0	0.49	0.50
$L_{56}$	1.05	-1.03	0.18	1.03	0.74
$L_{58}$	-2.18	6.58	1.0	1.25	0.61

【0047】表(2)の結果を参照すると、両凸レンズ $L_{33}$ 、両凸レンズ $L_{34}$ 、正メニスカスレンズ $L_{35}$ 、両凹レンズ $L_{46}$ 、両凸レンズ $L_{51}$ 、両凸レンズ $L_{52}$ 、両凸レンズ $L_{53}$ 、負メニスカスレンズ $L_{54}$ および両凸レンズ $L_{55}$ のうちのいずれか1つのレンズを第3光学部材 $V_c$ として光軸に垂直な方向に移動させることにより、投影光学系 $PL$ 内に残存するコマ収差を補正可能であることがわかる。ここで、第3光学部材 $V_c$ として使用可能なこれらの各レンズにおいて、入射側の傾斜角係数 $\alpha_1$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2$ が表(2)に示すように条件式(16)を満足している。

【0048】また、負メニスカスレンズ $L_{28}$ 、正メニスカスレンズ $L_{31}$ 、正メニスカスレンズ $L_{32}$ 、正メニスカスレンズ $L_{56}$ および負メニスカスレンズ $L_{58}$ のうちのいずれか1つのレンズを第2光学部材 $V_A$ として光軸に垂直な方向に移動させることにより、投影光学系 $PL$ 内に残存する非点収差を補正可能であることがわかる。こ

各レンズ面	hp	ho	$\phi/4$
$L_{11}$ の入射側レンズ面	66.8	10.9	44.8
$L_{11}$ の射出側レンズ面	64.4	12.0	45.1
$L_{12}$ の入射側レンズ面	64.4	13.1	45.5
$L_{12}$ の射出側レンズ面	62.9	15.7	46.0
$L_{13}$ の入射側レンズ面	59.4	15.8	45.7
$L_{13}$ の射出側レンズ面	52.9	16.9	44.8

【0051】以上の如く、各補正部材( $V_D$ 、 $V_C$ 、 $V_A$ )によってそれぞれ所定の収差を独立的に補正できるが、各補正部材( $V_D$ 、 $V_C$ 、 $V_A$ )による移動量は、露光時に用いるレチクル $R$ の代わりに、収差計測用の多数のマークが形成されたテストレチクル $TR$ を用いて、投影光学系のベストフォーカス位置、投影光学系のベストフォーカス位置からずれたディフォーカス位置において、そのテストレチクル $TR$ のパターンをレジストが塗布されたウエハ $W$ 上に試し焼き(試し露光)を複数回行うことにより、求めることができる。このため、テストレチクル $TR$ を用いた試し焼きの工程を経て得られた複数枚のウエハ $W$ 上に形成された各収差計測用の多数のマークのパターンを電子顕微鏡等で計測装置を用いて計測することにより、ディストーション、非点収差、コマ収差を始めとした諸収差の発生量を得ることができる。

で、第2光学部材 $V_A$ として使用可能なこれらの各レンズにおいて、入射側の傾斜角係数 $\alpha_1$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2$ が表(2)に示すように条件式(15)を満足している。

【0049】さらに、第1レンズ群中の負メニスカスレンズ $L_{11}$ 、両凸レンズ $L_{12}$ および両凸レンズ $L_{13}$ のうちのいずれか1つのレンズを第1光学部材 $V_D$ として光軸に垂直な方向に移動させることにより、投影光学系 $PL$ 内に残存するディストーションを補正可能であることがわかる。ここで、第1光学部材 $V_D$ として使用可能なこれらの各レンズにおいて、入射側の傾斜角係数 $\alpha_1$ または射出側の傾斜角係数 $\alpha_2$ が表(2)に示すように条件式(12)を満足し、且つ近軸入射高 $h_o$ および軸外入射高 $h_p$ が以下の表(3)に示すように条件式(13)および(14)を満足している。

【0050】

【表3】

【0052】そして、この電子顕微鏡等の計測装置を用いた収差の計測工程を経て、得られた各収差の収差量に基づいて、各補正部材( $V_D$ 、 $V_C$ 、 $V_A$ )を移動させる(補正部材による調整工程)ことにより、投影光学系 $PL$ に残存する収差を除去することができる。以上の調整または補正動作が完了した後、通常の露光用のパターンが形成されたレチクル $R$ をレチクルステージ $RS$ に設定すると共に、ウエハステージ $WS$ 上にレジストが塗布されたウエハ $W$ (感光性基板)を設定して、照明光学系 $IS$ にてレチクル $R$ を照明すると、ウエハ上には、投影光学系 $PL$ によってより忠実なレチクルパターンが投影転写される。このため、良好な半導体デバイスを得ることができる。

【0053】例えば、以下に述べる構成とすれば、測定した収差の自動調整が可能となる。具体的には、図4に

示したウエハWを保持するウエハステージWSの一端に収差計測用の光電変換素子等の受光手段Dを設けると共に、その受光手段からの出力信号に基づいて各補正部材( $V_D$ 、 $V_C$ 、 $V_A$ )の移動量を算出する補正量算出部を設け、さらに、その補正量算出部からの補正信号に基づいて、各補正部材( $V_D$ 、 $V_C$ 、 $V_A$ )に対応して設けられたピエゾ素子等の駆動部材( $DE_1 \sim DE_3$ )をそれぞれ駆動させるように構成することで、測定した収差の自動調整が可能となる。

【0054】この時、ウエハステージWSのXY方向での2次的位置を計測する干渉計とウエハステージWSを移動させるモータ等とを備えた駆動部DUを制御して、ウエハステージWSの位置を制御する制御系CSの内部において、例えば、補正量算出部が設けられている。この補正量算出部には、各補正部材( $V_D$ 、 $V_C$ 、 $V_A$ )の移動量と各収差の変化量との関係の情報が予め記憶されている。なお、ウエハステージWSは、駆動部DUを介して投影光学系PLの光軸AXと直交する面(XY平面)内で移動可能であるのみならず、駆動部DUによって投影光学系PLの光軸AXに沿った方向(Z方向)に移動可能である。そして、ウエハW上の露光領域に向けて光を投射する投射系AF<sub>1</sub>とそのウエハW上の露光領域を反射する光の位置を光電検出する検出系AF<sub>2</sub>とを備えた焦点検出系によって光電検出された情報に基づいて、制御系CSが駆動部DUの投影光学系PLの光軸AXに沿った方向での移動量を制御することにより、ウエハステージWSのZ方向での位置が制御される。

【0055】さて、収差計測用の多数のマークが形成されたテストレチクルTRを通常の露光を行うレチクルの代わりにレチクルステージRSに保持させて、テストレチクルTRのパターン面を投影光学系PLの物体面に設定すると共に、駆動部DUを介してウエハステージWSを駆動させて、受光手段Dを投影光学系PLの露光領域内に設定する。その後、そのテストレチクルTRの各マーク像等を投影光学系PLを介して受光手段Dにて光電的に検出する。この時、制御系CSは、焦点検出系(AF<sub>1</sub>、AF<sub>2</sub>)にて得られる受光手段Dの受光面におけるZ方向の位置情報と、駆動部DU内部の干渉計にて得られる受光手段DのXY方向での位置情報に基づいて、ウエハステージWSの位置を制御しながら、受光手段Dからの光電変換信号を取り込む。そして、受光手段Dは、投影光学系PLのベストフォーカス位置(投影光学系PLの像面)でのテストレチクルTRの各マーク像を光電検出すると共に、投影光学系PLのベストフォーカス位置からずれたディフォーカス位置でのテストレチクルTRの各マーク像を光電検出する。

【0056】さて、テストレチクルTRを用いて得られた受光手段Dからの各出力信号に基づいて、制御系CSの内部の補正量算出部は、各補正部材( $V_D$ 、 $V_C$ 、 $V$

$A$ )の移動量を算出した後、補正信号を各駆動部材( $DE_1 \sim DE_3$ )へ出力して、駆動部材( $DE_1 \sim DE_3$ )をそれぞれ駆動させる。これにより、受光手段Dにて計測された各収差を補正するように各補正部材( $V_D$ 、 $V_C$ 、 $V_A$ )の光軸AXと直交した方向での移動をそれぞれ自動設定することができ、投影光学系PLに残存する収差を除去することができる。以上の調整または補正動作が完了した後、通常の露光用のパターンが形成されたレチクルRをレチクルステージRSに設定すると共に、ウエハステージWS上にレジストが塗布されたウエハW(感光性基板)を設定して照明光学系ISにてレチクルRを照明すると、ウエハ上には、投影光学系PLによってより忠実なレチクルパターンが投影転写される。このため、良好なる半導体デバイスを得ることができる。

【0057】なお、以上の実施例では、投影光学系を全て屈折性光学部材で構成した時に補正部材を設けた例を示したが、これに限ることなく、例えば、反射型光学部材と屈折性光学部材とを含む反射屈折型等の投影光学系に適用し得ることは言うまでもない。なお、以上の実施例では、ディストーション(歪曲収差)、コマ収差および非点収差を同時に補正する例を示したが、本発明は、これらの収差のいずれか1つを補正するものであっても良い。つまり、投影光学系PLにおいて、ディストーションとコマ収差と非点収差とのいずれか1つが残存していれば、その残存収差を補正する補正部材を設ければ良いことから明らかである。

【0058】なお、各光学部材において光軸と直交する面に沿ってレンズを移動可能に構成するには、たとえばビス押し機構を利用することができる。ビス押し機構では、光軸方向に向かう少なくとも3つのビスによってレンズを支持し、少なくとも1つのビスを緩めるとともに他のビスをねじ込むことによってレンズを二次元的に移動させることができる。また、ピエゾ素子のような他の駆動素子を用いてレンズの駆動機構を構成することもできる。

【0059】

【効果】以上説明したように、本発明では、製造誤差や組立誤差などに起因して投影光学系にコマ収差や非点収差やディストーションなどの諸収差が残存しても、投影光学系が搭載された状態でこれらの残存収差を随時補正することのできる投影露光装置を実現することができる。その結果、製造精度や組立精度を高くしなくても、常に高性能な投影光学系を介して高精度な投影露光を行うことができる。したがって、本発明の投影露光装置により、良好な半導体デバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例にかかる投影露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の投影光学系PLのレンズ構成を示す図で

ある。

【図3】本発明の収差補正の原理を説明するための図である。

【図4】図1の実施例とは別の実施例にかかる投影露光装置の構成を概略的に示す図である。

【符号の説明】

I S 照明光学装置

R レチクル

R S レチクルステージ

P L 投影光学系

A S 開口絞り

W ウエハ

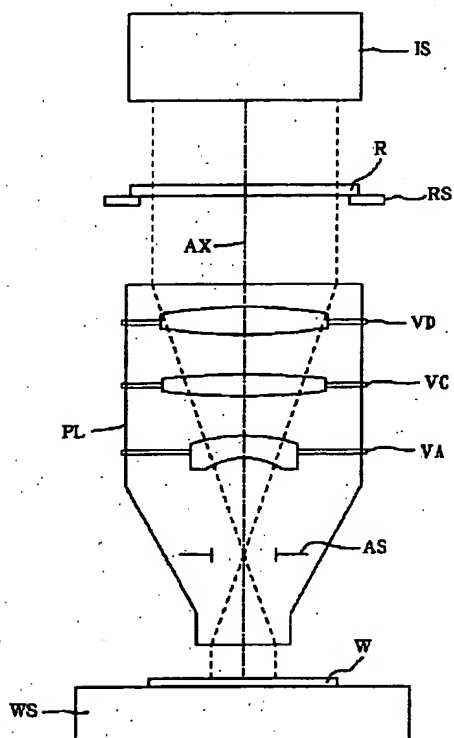
W S ウエハステージ

V<sub>D</sub> 第1光学部材

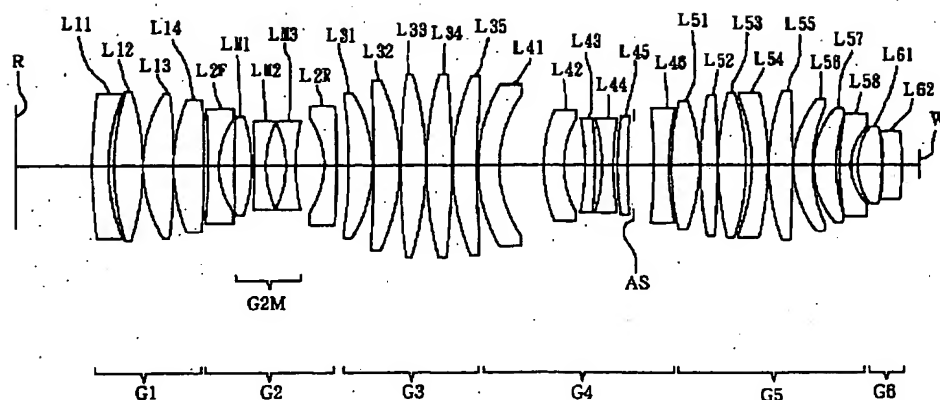
V<sub>A</sub> 第2光学部材

V<sub>C</sub> 第3光学部材

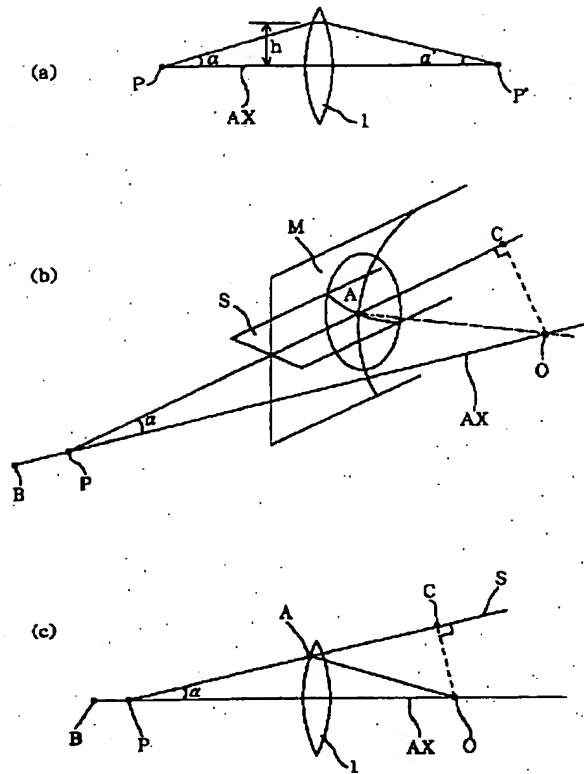
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

